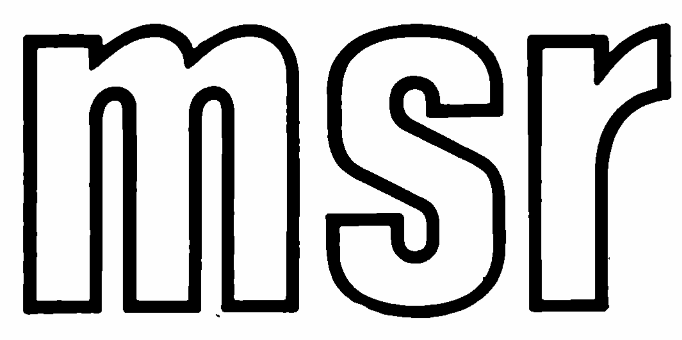
12

1983



messen · steuern · regeln

26. Jahrgang
Heft 12
Dezember 1983



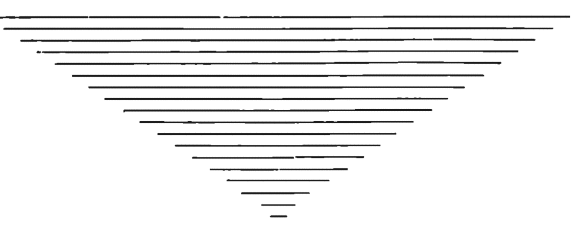
ISSN 0026-0347

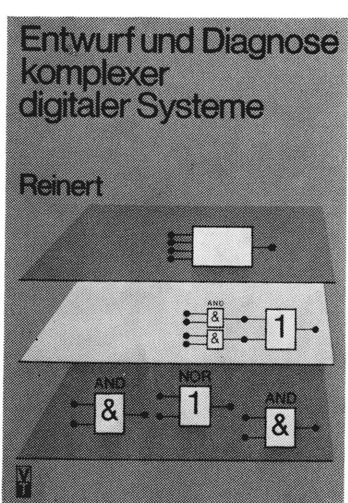
Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,00 M

VEB
Verlag Technik
Berlin

NEUERSCHEINUNG

Für Projektanten und Anwender der Automatisierungstechnik und Informationsverarbeitung, Wissenschaftler, Studenten höherer Semester





Entwurf und Diagnose komplexer digitaler Systeme

Von Dr.-Ing. Dietmar Reinert. 270 Seiten, 152 Bilder, 35 Tafeln, Pappband, 37,— M, Ausland 42,— M
Bestellangaben: 553 209 4/Reinert, Entwurf

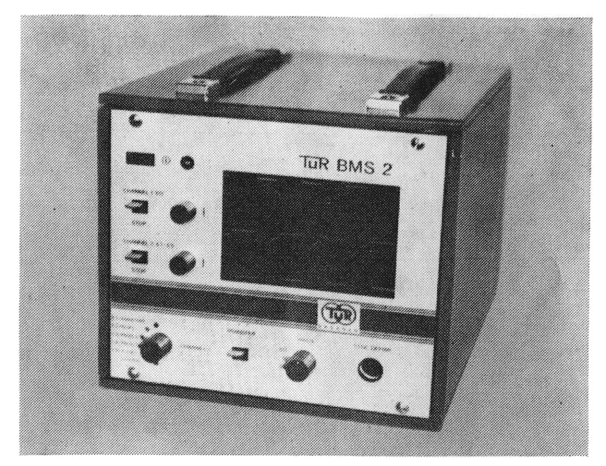
Eine Darstellung der wichtigsten Grundlagen, Denkweisen und Lösungen beim Systementwurf. Den Bedürfnissen der Praxis entsprechend werden die systematischen Vorgehensweisen und Methoden vor allem der ersten Entwurfsetappen sowie die Grundlagen und Details beim Diagnoseentwurf besonders herausgestellt. An einem Beispielentwurf wird das prinzipielle Vorgehen veranschaulicht. Darüber hinaus wird auch auf Möglichkeiten der Programmüberprüfung eingegangen.

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Für Forschung, Entwicklung und Produktion



„TuR" BMS 2-1 für die übersichtliche, langfristige Darstellung niederfrequenter Signale

Komplikationlose Darstellung niederfrequenter Signale mit dem Speichersichtgerät.
Dieses neue Zweikanal-Speichersichtgerät „TuR" BMS 2-1 löst Ihre Probleme bei der Darstellung von Signalverläufen im Frequenzbereich von 0—60 Hz. Damit geben wir Ihnen eine wertvolle Unterstützung bei der Überwachung von technologischen Parametern in Ihrem Produktionsprozeß. Für eine hohe Darstellungsqualität (paper mode) werden die Informationen mit einer Auflösung von 8 bit in einem 2 Kbyte Digitalspeicher abgelegt. Außerdem verfügt das „TuR" BMS 2-1 über ein hochleistungsfähiges Netzteil, so daß wir auch Ihre externen Zusatzeinrichtungen mit stabilen Spannungen versorgen können. Eine Reihe von Zusatzfunktionen machen dieses Gerät für viele Bereiche der Technik und Medizin interessant (Hintergrundspeicher, Stoppfunktionen, Transfer zwischen den Kanälen 1 und 2 u. v. m.).

Technische Daten (Auszug)

Bildschirm:	125 × 80 mm²
Bilddarstellzeit:	beliebig lange (bei Stopp)
Laufbildgeschwindigkeit:	50 mm/s, 25 mm/s
Eingangsempfindlichkeit:	1,1 V bei Vollaussteuerung
Eingangsimpedanz:	100 kOhm
Abmessungen:	Einschub BMS 2 — 180 × 320 × 240 mm³ (H × T × B) Gehäuse — 240 × 320 × 260 mm³ (H × T × B)

Für weitere Informationen zu technischen Einzelheiten stehen wir Ihnen jederzeit gern zur Verfügung.

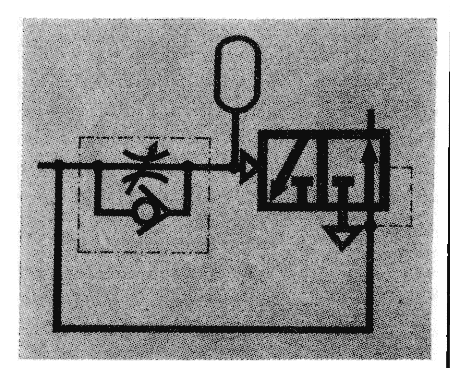
VEB Transformatoren- und Röntgenwerk
„Hermann Matern" Dresden
Betrieb Medizinische Elektronik

1406 Hohen Neuendorf
Berliner Straße 60



messen · steuern · regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Die ersten drei Beiträge im Aufsatzteil dieses Heftes vermitteln einen umfassenden Überblick über das vom Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów „MERA-PIAP", Warschau, entwickelte pneumatische Hochdrucksteuersystem INTEPNEDYN. Der erste Beitrag stellt das System selbst und seine Grundelemente vor, der zweite behandelt den Entwurf der Steuerschaltungen und der dritte zeigt Anwendungen des Systems in der Anlagenautomatisierung.
Unser Titelbild deutet schematisch eine pneumatische Zeitschaltung an.
Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:
Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

12
26. Jahrgang
Dezember 1983
VEB VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

Dipl.-Ing. *W. Krechowiecki*, Warschau[1])

INTEPNEDYN – ein System pneumatischer diskreter Steuerelemente

IA 4.0.2.2.

Das System INTEPNEDYN, bestehend aus pneumatischen Hochdruckelementen und diskreten Baueinheiten mit bewegten Teilen, ist für den Aufbau von Steuerungssystemen bestimmt, in denen pneumatische binäre Signale bei 0,2 ... 0,8 MPa Speisedruck verarbeitet werden. Es wird aus Einheitsbaugruppen gebildet, die – vom Standpunkt der im Steuersystem erfüllten Funktionen – folgende Funktionseinheiten umfassen (Bild 1): Funktionseinheiten zur

– Informationseingabe
– Informationsgewinnung
– Informationsverarbeitung
– Signalwandlung.

Technische Hauptdaten der INTEPNEDYN-Elemente sind in der Tafel zusammengestellt.

Die Funktionseinheiten zur Informationseingabe bestehen aus INTEPNEDYN-Elementen zur Signal-Handeingabe, wie Taster und Handschalter (Bild 2), die mit unterschiedlichen Varianten des Betätigungssystems gefertigt werden. Diese Funktionseinheiten ermöglichen die direkte Erzeugung von pneumatischen Impuls- und Dauersignalen. Zu diesen Einheiten gehört auch das pneumatische Programmschaltwerk Typ PWWs (Bild 3) als

[1]) Mitteilung aus dem Industrieinstitut für Automatik und Messungen Warschau. Der Beitrag wurde von Dr.-Ing. *A. Schwarz*, AdW der DDR, ZfK Rossendorf, bearbeitet.

Tafel. Technische Hauptdaten der INTEPNEDYN-Elemente

Kenngröße	Kurzzeichen	Maßeinheit	Zahlenwert bzw. Wertbereich	Bemerkungen
Nenn-Speisedruck	p_{zn}	MPa	0,63	
Speisedruckbereich	p_z	MPa	0,2–0,8	
			0,1–0,8	Informationsumformungselemente, Informationseingabeelemente
dem „1"-Signal entsprechender Druckbereich		MPa	0.9–1 pz	
dem „0"-Signal entsprechender Druckbereich		MPa	0,0–0,1 pz	
Steuerkraft bei Nenndruck	F	N	$F \leqq 45$ $F \leqq 25$	Informationsentnahmeelemente: mechanisch betätigte Ventile PWPkr, PWPdr, PWPdł
			$F \leqq 6 \cdot 10^{-6}$ pz $F \leqq 5$	Informationsentnahmeelemente: Staudüsen PWZK, PWCK mechanisch betätigte Ventile PWCp
			$F \leqq 40$	Informationshandeingabeelemente
Nennvolumenstrom bei 0,1 MPa Druckabfall (Nenndurchfluß am Ausgang)	Q_n	m³/h	1,5	Informationsverarbeitungselemente mit 2 mm Nennweite
			4	Elemente mit 3 mm Nennweite
			0,48	Informationsentnahmeelemente PWCK, PWZK, PWPc-2
pneumatische Anschlußleitung Nennmaß	–	mm	Ø6 × 1	Anschlußstück-Nennweite: Ø 3 mm
			Ø4 × 1	Informationsentnahmeelemente PWCK, PWZK und INTEPNEDYN-Elemente mit 2 mm Nennweite
Nennspeisespannung (Gleichstrom)	U_z	V	24; 48	Informationsumformungs-Elemente: elektropneumatische Signalwandler
Nennspeisespannung (Wechselstrom)	U_z	V	24; 110; 220 (50 Hz)	
Leistungsaufnahme	M	W	12	
	M	VA	15	
Lebensdauer	–	Schaltspielezahl	10^7	
Umgebungstemperatur	–	°C	–10 ... +55	
		°C	–20 ... +55	Informationsumformungs-Elemente: elektropneumatische Signalwandler (Relais)
zulässige Mediumverunreinigung	–	µm	40	Festkörper
		mg/m³	30	Ölnebel
Einbaulage	–	–	–	beliebig

Bild 1 Übersichtsschema eines mit INTEPNEDYN-Elementen aufgebauten automatischen Steuersystems

von elektrischer Einrichtung
an elektrische Einrichtung

INTEPNEDYN
Informations-eingabe-einheiten
Taster Schalter Programm-schaltwerk

INTEPNEDYN
Informations-verarbeitungs-einheiten (logische Blöcke)
Logik-Elemente Zeitelemente Schaltelemente

INTEPNEDYN
Signal-wandlungs-einheiten
elektropneu-matische und pneumatisch-elektrische Signalwandler

Informations-gewinnung
Sensoren, End-schalter, me-chanisch betä-tigte Ventile, Druckschalt-ventile
INTEPNEDYN

Stellelemente bzw. Betätigungselemente (Druckluftzylinder, Steuerschieber)

Objekt (Maschine, Einrichtung)

Einrichtung zur Programmeingabe in pneumatische Steuersysteme mit veränderlichem Programm. Eine mit einem Pneumatik-Stellantrieb betätigte Walze, die bei jedem Kolbenhub eine Drehung um 15° entsprechend 24 Walzenstellungen ausführt, bildet den Programmträger in diesem Programmschaltwerk, das 10 pneumatische Stellrelais als Ausgangselemente hat. In jeder Stellung der Programmwalze können Programmstifte eingeschraubt werden, die bestimmte Ausgangssignalkombinationen an die weiteren Teile des Steuersystems abgeben.

Zu den Funktionseinheiten zur Informationsgewinnung gehören Sensoren, Endschalter, mechanisch betätigte Ventile und Druckschaltventile, z. B. pneumatische Staudüsen PWCk und PWZk, Endschalter PWPkr und PWCp-1, Rollenhebelendschalter mit Leerrücklauf (Richtungsendschalter mit Impulswirkung) PWPdł, Rollenhebelendschalter PWCp-3 und PWPdr und Federstabendschalter PWCp-2. Bild 4 zeigt einige Varianten.

Für die INTEPNEDYN-Sensoren und -Endschalter sind im Bild 5 wichtige Angaben zur Steuerkraftrichtung, zum Steuerhub, zur Ansteuerkraft und zur Ausgangssignal-Ausstiegzeit aufgetragen. Pneumatische Druckschaltventile werden in folgenden Varianten gefertigt:

- PWPc-1 Druckschaltventil mit einstellbarer Schaltdifferenz (Bild 6a)
  In diesem Druckschaltventil läßt sich der Einschalt- bzw. Ausschaltdruckwert im Meßdruckbereich 0,003 ... 0,6 MPa stufenlos einstellen.
- PWPc-2 Druckschaltventil mit unveränderlicher Schaltdifferenz (Bild 6b)
  Hier ist nur ein fester Schaltpunkt, z. B. der Einschaltpunkt, im Meßdruckbereich 0,03 ... 0,6 MPa einstellbar.

Die Funktionseinheiten des INTEPNEDYN-Systems zur Informationsverarbeitung sind für den Aufbau des Zentralteiles von Steuersystemen bestimmt und enthalten Logik- und Zeitelemente mit 3 mm Nennweite. Folgende pneumatische Logikelemente sind vorhanden:

- PWELw Mehrfunktionselement (Bild 7a)
- PWELa ODER-Glied (Bild 7b)
- PWELm ODER-Block mit mehreren Eingängen (Bild 7c)
- PWELk UND-Glied
- PWBL-1 Flip-Flop-Element (Bild 7d).

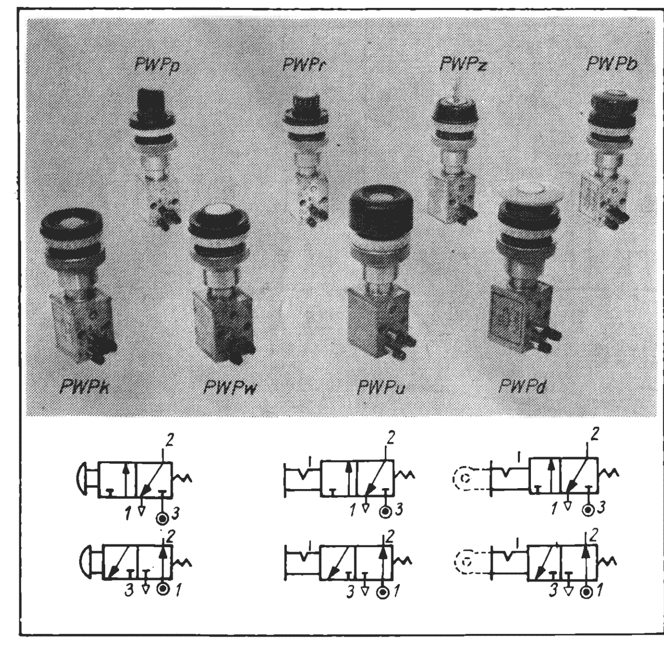


Bild 2. Taster und Schalter zur Signal-Handeingabe

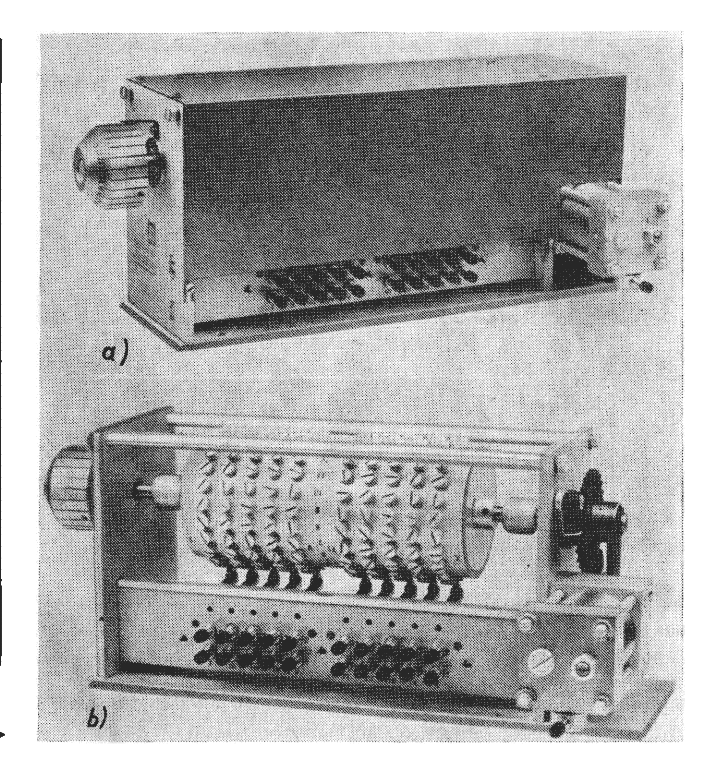


Bild 3. Programmschaltwerk Typ PWWs ▶

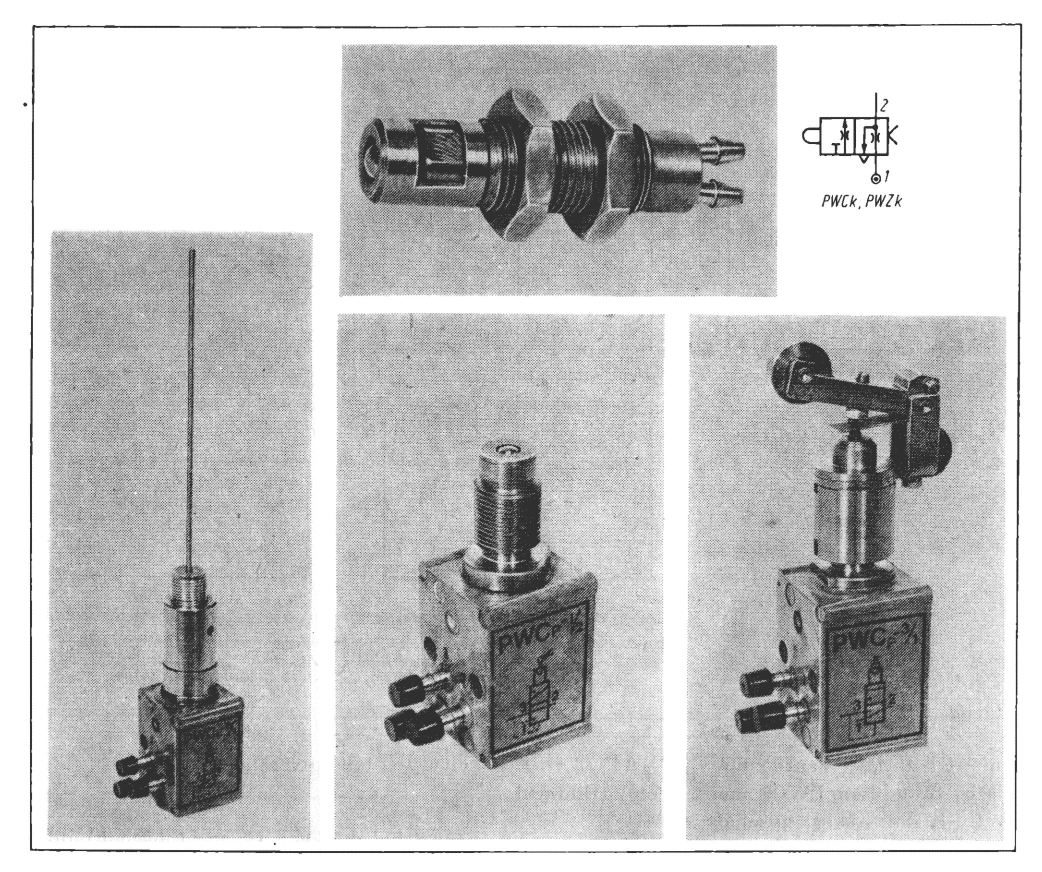


Bild 4. Funktionseinheiten zur Informationsgewinnung

INTEPNEDYN-Elemente mit 3 mm Nennweite zur Realisierung von Zeitschaltungen sind:

- PWEdz Drossel-Rückschlagventil (Bild 8a)
- PWBL-4 pneumatisches Verzögerungsventil (Bild 8b).

Aus Bild 9 ist die Realisierung einiger logischer Funktionen unter Anwendung der Logikelemente INTEPNEDYN mit 3 mm Nennweite ersichtlich. Zeitschaltungen unter Anwendung dieser Elemente gehen aus Bild 10 hervor.
Zur Realisierung umfangreicher pneumatischer Steuersysteme sind für den Zentralteil die INTEPNEDYN-Logik- und -Steuerelemente mit 2 mm Nennweite vorgesehen. Als Ausgangselemente können wieder die Elemente mit 3 mm Nennweite bzw. direktgesteuerte pneumatische Ventile mit Nennweite 3/4″ gewählt werden.
Zur Gruppe der Logikelemente mit 2 mm Nennweite gehören folgende Typen (Bild 11):

- Passives ODER-Element MAB
- Passives UND-Element MKB
- Wiederholungselement MEP
- NICHT-Element MEN
- Aktives ODER-Element mit 2 Eingängen MAC
- NOR-Element mit 2 Eingängen MNA
- Pneumatische Flip-Flop-Elemente MPP-1, MPP-2, MPP-3.

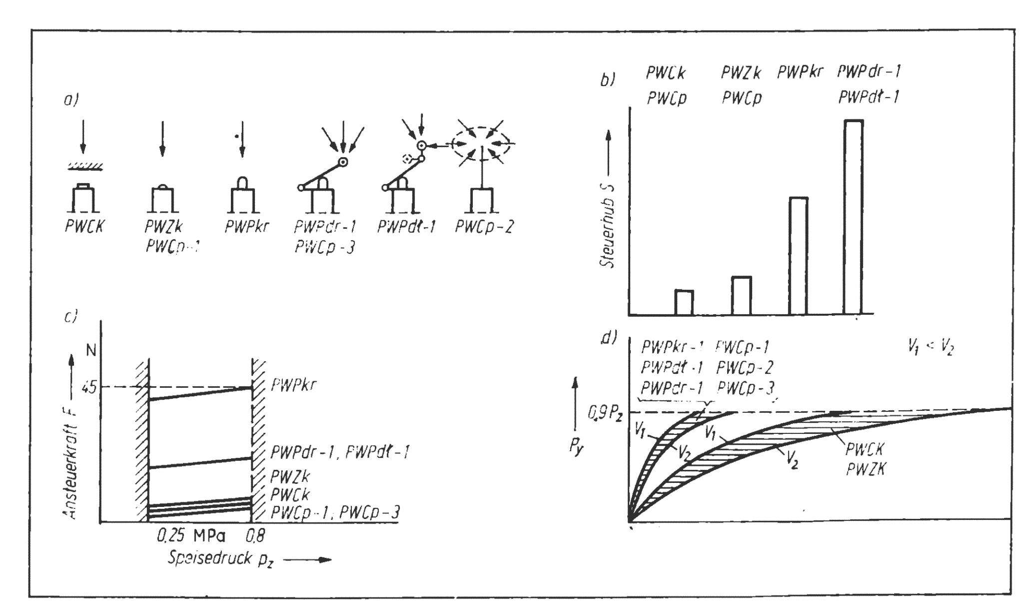
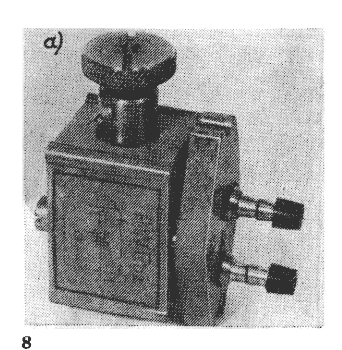


Bild 5. Kenndaten zu Sensoren und Endschaltern

a) Steuerkraftrichtung; b) Steuerhub; c) Ansteuerkraft; d) Ausgangssignal-Anstiegzeit





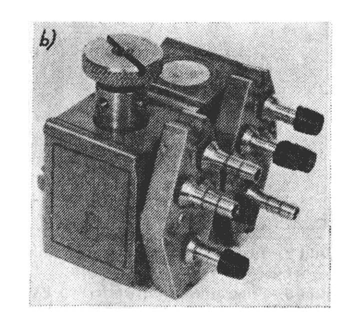


Bild 8. Elemente zur Realisierung von Zeitschaltungen mit 3 mm Nennweite ▶

a) Drossel-Rückschlagventil PWEdz; b) Verzögerungsventil PWBL-4

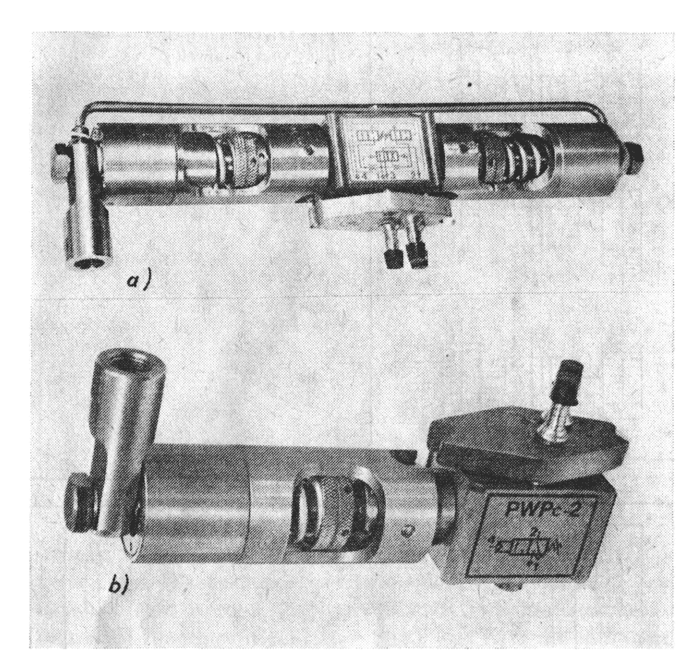


Bild 6. Druckschaltventile

a) Typ PWPc-1 mit einstellbarer Schaltdifferenz
b) Typ PWPc-2 mit fester Schaltdifferenz

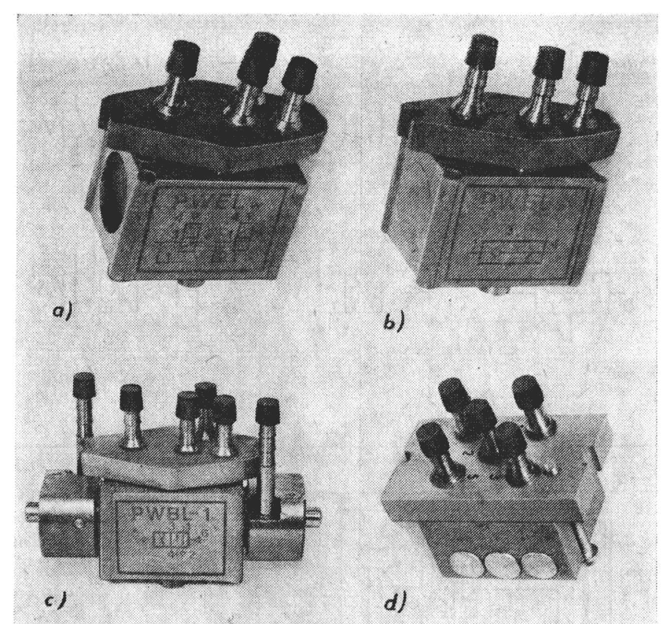


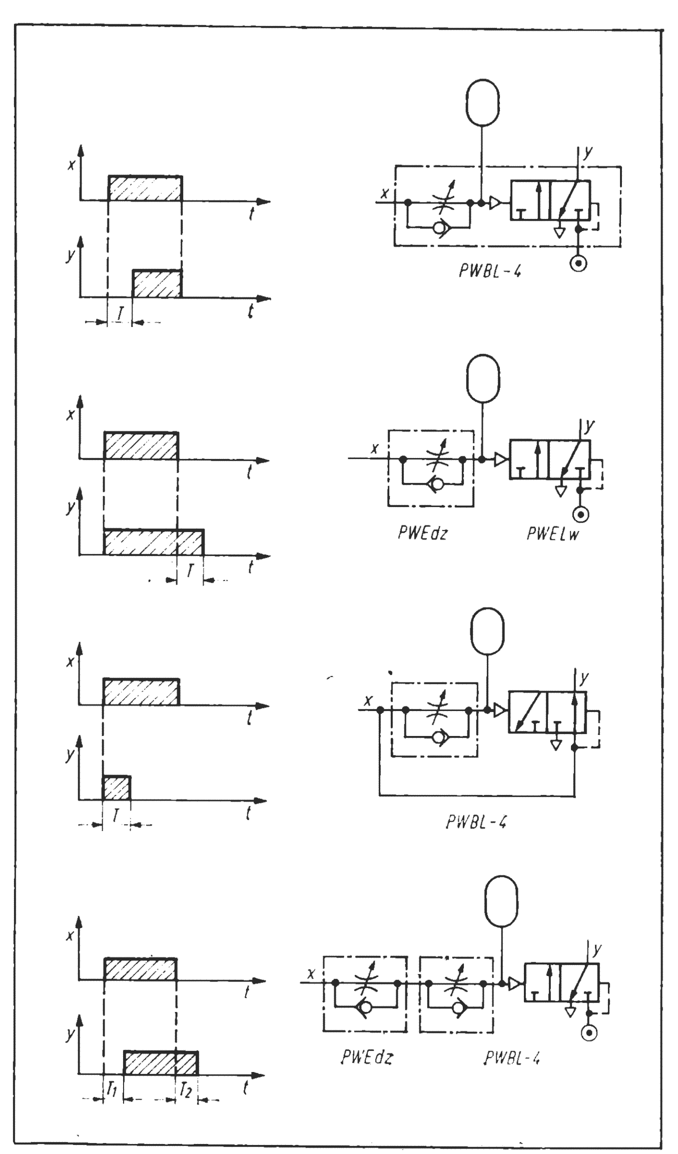
Bild 7. Pneumatische Logikelemente mit 3 mm Nennweite

a) Mehrfunktionselement PWELw; b) ODER-Glied PWELa; c) Flip-Flop PWBL-1; ODER-Block mit mehreren Eingängen PWELm

Bild 9. Realisierung logischer Funktionen

logische Funktion	Symbol	Elementetyp
$y = x$		PWELw.
$y = \bar{x}$		PWELw
$y = x_1 + x_2$		PWELa
$y = x_1 + x_2 + x_3 + x_4$		PWELa-m
$y = \overline{x_1 + x_2}$		PWELa + PWELw
$y = x_1 \cdot x_2$		PWELk oder PWELw
$y = \bar{x}_1 \cdot x_2$		PWELw

Bild 10. Zeitschaltungen



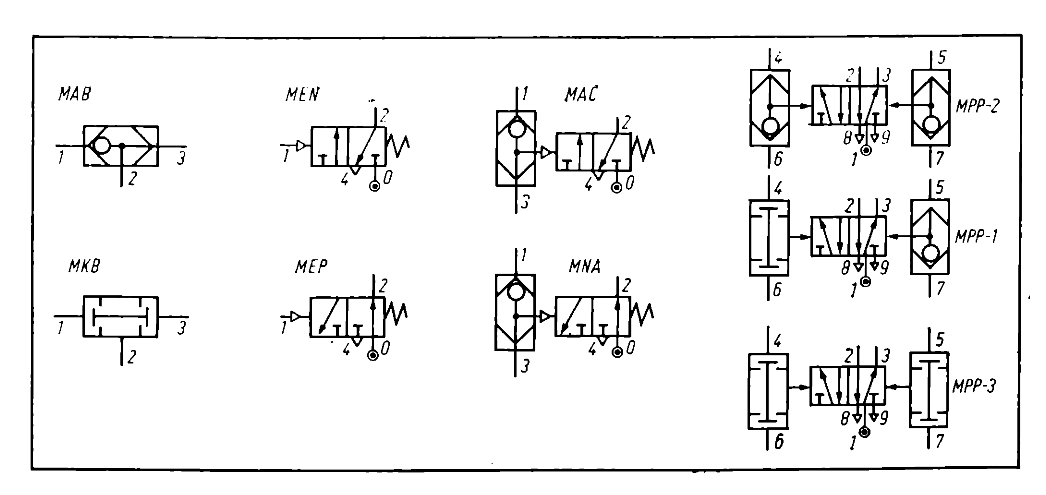




Bild 11. Logikelemente mit 2 mm Nennweite

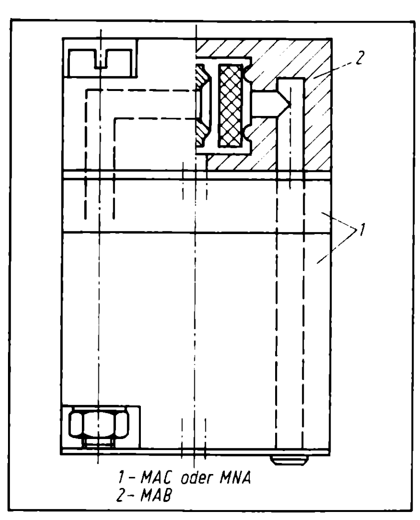


Bild 12. (links) Bauprinzip eines Logikelements mit mehreren Eingängen

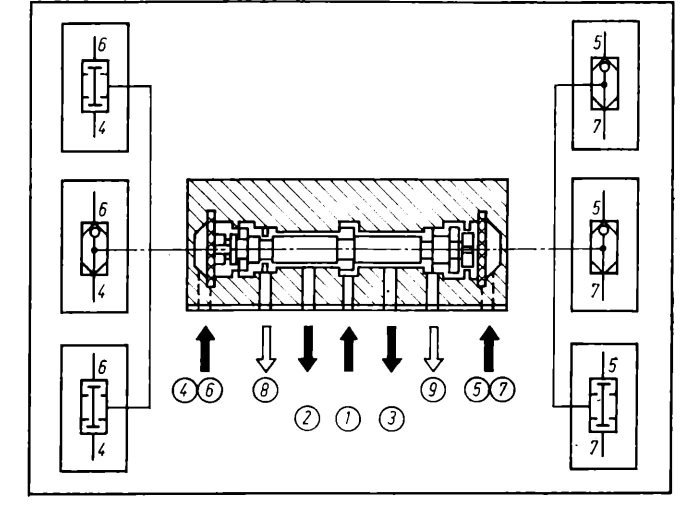


Bild 13. (rechts) Flip-Flop für 4 Eingangssignale

Die Logikelemente MEP, MEN, MAC, MNA sind auf der Basis eines pneumatischen 3/2-Wege-Membranventiles aufgebaut. In den Logikelementen MAC und MNA sind die Grundelemente MEP bzw. MEN mit einem passiven ODER-Glied MAB kombiniert. Die konstruktive Ausführung dieser Elemente ermöglicht ihre gegenseitige Verbindung über eine Montageplatte.

Bild 12 zeigt am Beispiel eines MNA- oder MAC-Elementes das Bauprinzip der Logik-Elemente mit mehreren Eingängen, die aus den Grundelementen mit 2 mm Nennweite bestehen.

Pneumatische INTEPNEDYN-Flip-Flops mit 2 mm Nennweite sind membrangesteuerte 5/2-Wegeventile, wobei MAB- oder MKB-Elemente in Form eines Deckels beiderseitig an das pneumatische Flip-Flop-Element angeschlossen werden (Bild 13). Dadurch entsteht ein Flip-Flop mit 4 Eingangssignalen, die über eine logische ODER- bzw. UND-Funktion verknüpft sind.

Zu den INTEPNEDYN-Elementen mit 2 mm Nennweite gehören auch 2 Typen einstellbarer pneumatischer Widerstände MOZ-1 und MOZ-2 (Bild 14). Konstruktiv sind die MOZ-Elemente so gestaltet, daß sie mit den MEP- bzw. MEN-Grundelementen unmittelbar verbunden werden können (vgl. Bild 12). Dies ermöglicht den Aufbau von Elementen, die zur Einstellung kleiner Signalverzögerungszeiten geeignet sind.

Die MWW- und MWS-Binäranzeiger sind zur Kontrolle der pneumatischen Steuersignale bestimmt (Bild 15). Im MWW-Binäranzeiger wird der Druck eines Steuersignals durch einen Kolbenhub angezeigt. Der MWS-Binäranzeiger wirkt im Prinzip wie ein Rückschlagventil.

Für Schaltungen mit einer hohen Anzahl passiver Elemente wurden zur Signalabfallbeschleunigung die MSS-1- und MSS-2-Schnellablaßelemente entwickelt (Bild 16). Die MSS-1-Elemente können mit MAB- oder MKB-Elementen kombiniert werden.

Die INTEPNEDYN-Elemente mit 2 mm Nennweite werden unmontiert geliefert und können vom Betreiber des Steuersystems in Abhängigkeit von der gewünschten Steuerfunktion auf die gelieferten Anschlußplatten montiert werden. Je nach Bedarf können auf einer Anschlußplatte entweder 6 logische

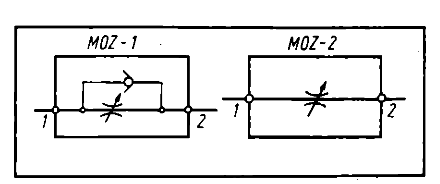


Bild 14. Einstellbare pneumatische Widerstände

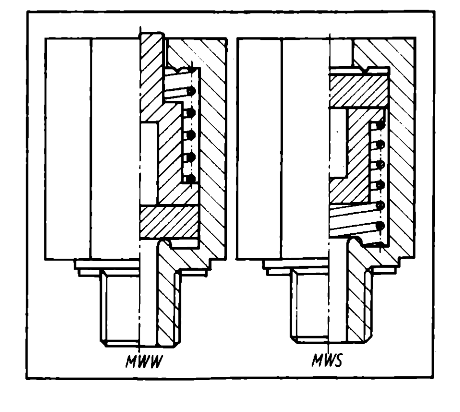


Bild 15. (Mitte) Binäranzeiger

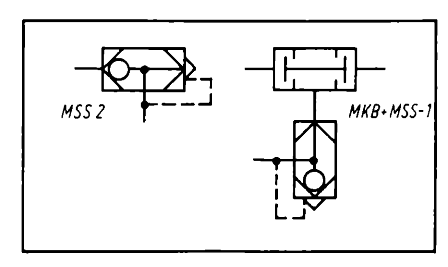
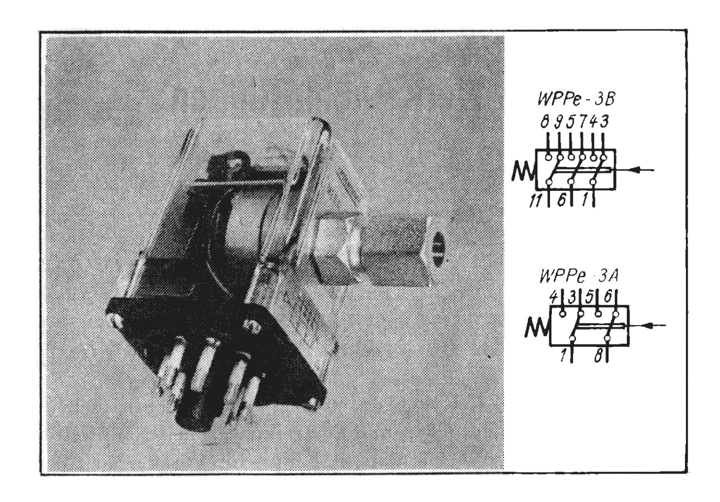


Bild 16. Schnellablaßelemente



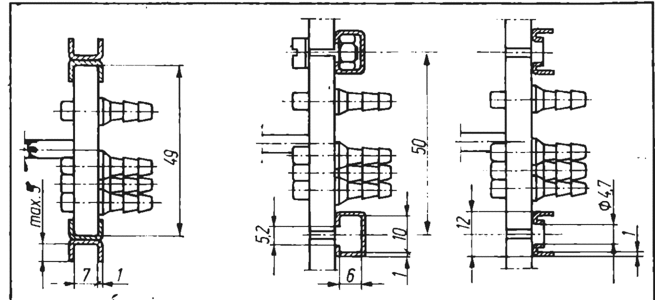


Bild 19. Einsatz der mit Steuerelementen bestückten Anschlußplatten in Montageleisten

Bild 17. (links) Pneumatisch-elektrische Signalwandler

Grundelemente mit entsprechenden Anbauelementen oder 2 Speicherelemente oder 1 Speicherelement und 3 Grundelemente untergebracht werden. Jedes INTEPNEDYN-Element hat ein Paßstück zur eindeutigen Anordnung auf der Anschlußplatte. Die Lage der Verbindungsleitungen auf der Anschlußplatte ergibt sich in Abhängigkeit von der entworfenen Schaltung und den dafür eingesetzten Elementen.

Infolge der Bauweise und der Verbindungsart der Elemente ist die Anzahl der notwendigen Leitungsverbindungen in einem Steuersystem mit INTEPNEDYN-Elementen mit 2 mm Nennweite relativ klein. Ebenso gering sind der Platzbedarf im Schaltschrank und der Luftverbrauch.

Um die Kopplung zwischen INTEPNEDYN-Steuerungen und elektrischen Steuersystemen zu ermöglichen, wurden Funktionseinheiten zur Signalwandlung entwickelt. Dazu gehören

- die auf der Basis eines elektrischen Kontaktrelais aufgebauten pneumatisch-elektrischen Signalwandler WPPE-3, die ein pneumatisches Hochdrucksignal in ein elektrisches 220-V-Signal bei Stromstärken bis maximal 5 A umsetzen (Bild 17)
- die elektropneumatischen Signalwandler WPEp-2, WPEp-3/1, WPEp-3/2 und WPEp-4, die ein elektrisches Signal in ein pneumatisches Hochdrucksignal umsetzen (Bild 18).

Die WPEp-Elektro-Magnetventile werden in 20 Varianten hergestellt, die sich durch die realisierte logische Funktion, die Art der Speisespannung und die Werte der Betriebsspannung der Magnetspulen voneinander unterscheiden.

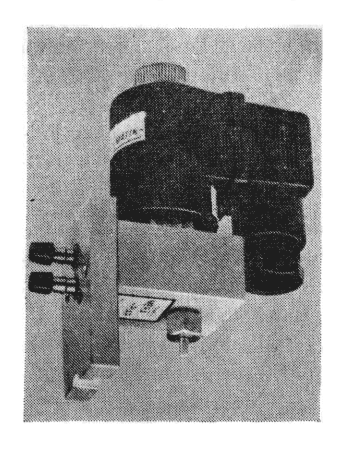
Für die Verbindungen der INTEPNEDYN-Elemente mit 3 mm Nennweite sind flexible Kunststoffleitungen aus PVC, Polyäthylen usw. ∅ 6 × 1 (Innen-∅ 4 ± 0,2) mm vorgesehen. Meßrelais und Stellrelais werden direkt am gesteuerten Objekt angeordnet, und der Anschluß erfolgt über die aus dem Elementekörper herausragenden Anschlußstücke. Die Taster und Handschalter sind für den Einbau in Steuerpulte und Steuertafeln mit Durchbrüchen ∅ 30,5 mm vorgesehen.

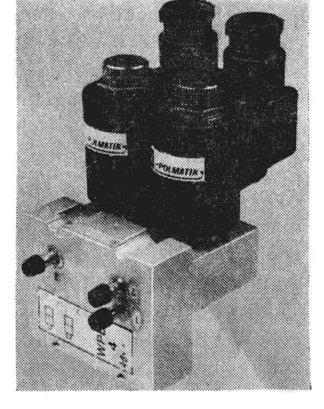
Im Steuersystemzentralteil werden die INTEPNEDYN-Elemente mit 3 mm Nennweite auf austauschbare Anschlußplatten eingebaut. Die Verbindungsleitungen werden auf die Plattenanschlußstücke aufgezogen. Die Steuerelemente werden auf den Anschlußplatten befestigt und können ohne Trennung der Leitungsverbindungen leicht ausgewechselt werden. Druckschaltventile und elektropneumatische Signalwandler sind genauso wie die eben genannten Elemente mit 3 mm Nennweite des Steuersystemzentralteiles für Schaltschrankeinbau vorgesehen und mit gleichen austauschbaren Anschlußplatten ausgerüstet. Die mit Steuerelementen bestückten Anschlußplatten werden in Montageleisten des Schaltschrankes eingesetzt (s. Beispiel im Bild 19).

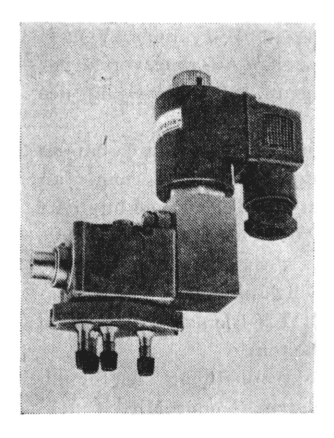
Zum INTEPNEDYN-Steuersystem gehören außerdem Verbindungselemente, wie Mehrwegdurchführungen, Verzweigungs- und Anschlußstücke, die die Herstellung von Leitungsverbindungen zwischen INTEPNEDYN-Elementen und anderen Steuerelementen in übersichtlicher Weise ermöglichen.

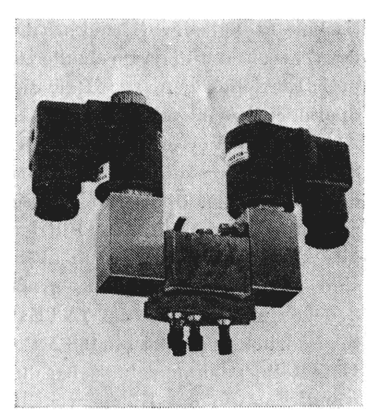
msr 7846

Bild 18. Elektropneumatische Signalwandler für Betätigungsspannungen: 24 V—; 48 V—; 24 V~; 110 V~; 220 V~

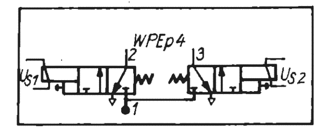


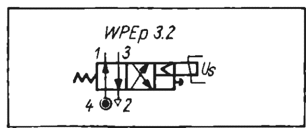


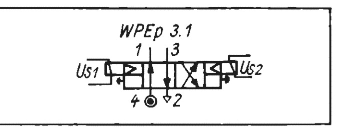




WPEp2







Dipl.-Ing. *D. Stawiarski*, Warschau[1])

Entwurf pneumatischer Steuersysteme für automatisierte Werkzeugmaschinen und verfahrenstechnische Anlagen unter Anwendung der Steuerelemente des INTEPNEDYN-Systems

IA 4.0.2.2.

In Steuersystemen zur Automatisierung von Werkzeugmaschinen und verfahrenstechnischen Anlagen werden sehr oft pneumatische Zylinder und Motore als Stellglieder eingesetzt. Deshalb müssen in diesen Steuersystemen pneumatische und elektropneumatische Ventile verwendet werden. Auch die Steuersystem-Zentraleinheiten, die die aus der Regelstrecke kommenden bzw. vom Bedienungspersonal eingeführten Informationen verarbeiten, werden häufig mit pneumatischen, diskreten Elementen aufgebaut. Die INTEPNEDYN-Elemente [1] und [3], vorzugsweise solche mit 3 oder 2 mm Nennweite, können sowohl als Elemente für die direkte Steuerung von kleinen Druckluftmotoren bzw. von pneumatischen Zylindern (Nenndurchmesser < 32 mm) als auch als Elemente für die Informationsverarbeitung eingesetzt werden. Die zur Verarbeitung bestimmten Informationen müssen als binäre pneumatische Signale zugeführt werden. Dabei entspricht dem „0"-Signal ein Wert von 0—0,1 des Speisedruckes und dem „1"-Signal ein Wert von 0,8—1,0 des Speisedruckes, der in einem Bereich von 0,25—0,8 MPa schwanken kann.

Unter Anwendung der INTEPNEDYN-Elemente können sowohl **Kombinations-Steuersysteme**, bei denen der momentane Zustand der Ausgangssignale vom momentanen Zustand der Eingangssignale abhängt, als auch **Folge-Steuersysteme** (sequentielle Steuersysteme), d. h. Steuersysteme mit Speicher, bei denen der momentane Zustand des Ausgangs durch den momentanen Eingangszustand des Steuersystems und durch den Ausgangszustand der Speicherelemente beeinflußt wird, gebaut werden. Bei der Automatisierung der Werkzeugmaschinen und verfahrenstechnischen Anlagen werden meist Folge-Steuersysteme eingesetzt.

In der Praxis werden die Steuersysteme für verfahrenstechnische Anlagen häufig auf der Basis pneumatischer Normaldruckelemente (Speisedruckbereich 0,1—0,14 MPa, z. B. DRELOBA-System) bzw. auf der Grundlage elektronischer Schaltkreise oder elektrischer Relaiselemente aufgebaut. Der Einsatz der pneumatischen INTEPNEDYN-Hochdruckelemente anstelle von Normal- bzw. Niederdruckelementen (Speisedruck einige kPa) für den Aufbau von Steuersystemen ist vorteilhaft, da die Hochdruckelemente oft bei gleichem Betriebsdruck wie die pneumatischen Stellglieder (Druckluftmotoren und -zylinder, Ventile usw.) arbeiten und dadurch alle zusätzlichen Ausgangsverstärker und Einrichtungen zur Reduzierung und Stabilisierung des Speisedruckes entfallen können.

Als weiterer Vorteil der mit Hochdruckelementen aufgebauten Steuersysteme sind auch die relativ niedrigen Anforderungen an die Qualität der Speiseluft anzusehen. Ölhaltige Druckluft darf zugeführt werden, und zur Filtrierung dürfen einfache Filter, die alle Festkörper über 40 µm absondern, verwendet werden. Es sind auch verhältnismäßig große Schwankungen des Speisedruckes zulässig, da die INTEPNEDYN-Elemente bei einem Speisedruck von 0,25 bis 0,8 MPa arbeiten.

Eine Reihe pneumoelektrischer und elektropneumatischer Signalwandler sowie die Niederdruck-Hochdruck- oder Mitteldruck-Hochdruckwandler im INTEPNEDYN-System erlauben die einfache Kopplung dieses pneumatischen Hochdruck-Steuersystems mit anderen elektrischen und pneumatischen Steuersystemen.

Die INTEPNEDYN-Hochdruckelemente haben entsprechend ihren hohen Arbeitsdrücken und den relativ großen Nennweiten (Öffnungsdurchmesser 3 mm bzw. 2 mm) im Vergleich zu den Niederdruck- bzw. Normaldruckelementen größere Abmessungen. Bei einer Einschätzung des Steuersystems insgesamt, d. h. unter Berücksichtigung der Einsparung von pneumatischen Signalverstärkern und zusätzlichen Baugruppen der Druckluftaufbereitung erweist sich jedoch das INTEPNEDYN-Steuersystem als konkurrenzfähig. Das gilt insbesondere für die zahlreichen Steuersysteme in verfahrenstechnischen Anlagen, bei denen nicht mehr als 25 ... 30 Elemente im Zentralteil benötigt werden. Zur Automatisierung von Maschinen und verfahrenstechnischen Anlagen werden die INTEPNEDYN-Elemente häufig auch für elektropneumatische Steuersysteme eingesetzt, bei denen der Zentralteil mit elektrischen Relais bzw. mit elektronischen Schaltkreisen realisiert wird und auch die Meßinformationsgewinnung elektrisch erfolgt.

In solchen Steuersystemen ist die Anwendung der elektro-pneumatischen INTEPNEDYN-Elemente WPEp-2, WPEp-3,1/3,2 oder WPEp-4 wegen ihrer vorteilhaften technischen Daten (kleine Bauweise, hoher Schutzgrad IP 56, Steckverbindungen nach ISO, ED des Magnets 100%, hohe Funktionsgeschwindigkeit usw.) und auch wegen der großen Auswahl der Steuerspulen, die die Anwendung von Gleichspannungen 24 V, 48 V und Wechselspannungen 24 V, 48 V, 110 V, 220 V für die Steuersysteme zulassen, technisch begründet.

Unter Anwendung der INTEPNEDYN-Elemente ist auch der Aufbau rein pneumatischer synchroner Steuersysteme möglich, wobei pneumatische Zeitrelais (z. B. PWBL-4) eingesetzt werden. So ein Steuersystem kann mit dem automatischen Programmschaltwerk für pneumatische Signale (z. B. PWNs) in Verbindung mit einem pneumatischen Signalgenerator realisiert werden. Mit dem Programmschaltwerk PWNs ist eine freie Zeitplansteuerung von 10 pneumatischen Arbeitseinheiten bei maximal 24 Zeitschritten möglich. Ein Schaltbild des Steuersystems ist aus Bild 1 ersichtlich. Der pneumatische Impulsgenerator mit pneumatischen Zeitgliedern kann auch durch einen elektrischen bzw. elektronischen Impulsgenerator mit Zeitrelais ersetzt werden.

Das Entwerfen pneumatischer bzw. elektropneumatischer Folgesteuerungssysteme setzt sich gewöhnlich aus folgenden Teilschritten zusammen:

a) Auswahl der zur Automatisierung einer Werkzeugmaschine bzw. einer verfahrenstechnischen Anlage nötigen Stellantriebe (Zylinder), Bestimmung ihrer Arbeitsfolge (Ablaufdiagramm) mit Unterteilung in einzelne Zeitschritte (Takte). Als Takt wird in diesem Fall ein Zeitabschnitt verstanden, in dem der Zustand der Zylinder im Steuersystem keine Änderung erfährt.
b) Auswahl der Wegeventile (z. B. pneumatisch bzw. elektropneumatisch betätigte Ventile, zweiseitig gesteuerte Ventile, Ventile mit einer erzwungenen Stellung usw.) zur Steuerung der Stellantriebe und Auswahl der Elemente zur Informations-Rückmeldung der Lage der Stellantriebe (z. B. Hubendlagenschalter, Impulsschalter, die vor Hubende schalten

[1]) Mitteilung aus dem Institut für Automatisierung und Messungen Warschau. Der Beitrag wurde von Dr.-Ing. *A. Schwarz*, AdW der DDR, ZfK Rossendorf, bearbeitet.

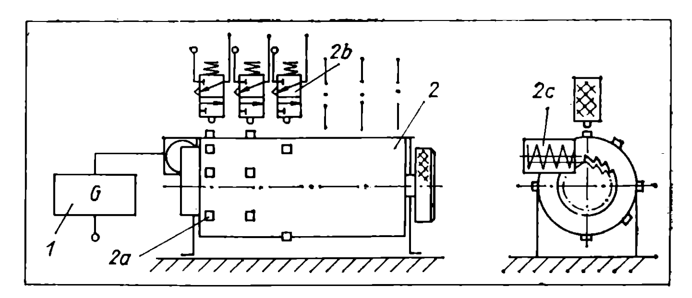


Bild 1. Pneumatisches Programmschaltwerk mit Impulsgeber zum Aufbau von pneumatischen, synchron arbeitenden Steuersystemen

1 pneumatischer Impulsgeber; *2* pneumatisches Programmschaltwerk; *a* Steuernocken; *b* pneumatische Relaiselemente in Miniaturausführung; *c* Antriebszylinder für Programmwalze

bzw. einen Impuls mit genau bestimmter Zeitdauer abgeben usw.).

c) Bestimmung der Zusatzbedingungen für START-STOP-Signale, für Handsteuerung und für eventuelle Verriegelungszustände.

d) Beschreibung des Systemverhaltens in Form eines Signalflußdiagramms und Bestimmung der Speicherzahl in dem System.

e) Funktionsminimierung.

f) Entwurf des logischen Schemas.

g) Entwurf des grundlegenden pneumatischen Schaltplanes.

h) Ergänzung des grundlegenden pneumatischen Schaltplanes mit zusätzlichen Verbindungen, die aus unter c) bestimmten Bedingungen hervorgehen.

i) Bearbeitung des Montageplanes mit einer Leitungsliste, auf dem die wirkliche Anordnung der Systemelemente und die Aufteilung in Baueinheiten (Steuerpult, Zentralteil, Ventilblock, Verbindungen außerhalb des Schaltschrankes) berücksichtigt werden.

Bei einfachen Steuersystemen und bei Anwendung vereinfachter Entwurfsmethoden werden gewöhnlich die Teilschritte d), e) und f) von den Systemprojektanten vernachlässigt, wobei sofort zu den Teilschritten g) und h) übergegangen wird. Die Auswahl der nötigen Speicherelemente erfolgt in diesem Fall aufgrund des Ablaufdiagramms durch eine Analyse derjenigen Signale, die die jeweils entgegengesetzten Bewegungen der Stellantriebe verursachen, z. B. die Kolbenvorwärtsbewegung A bzw. die Kolbenrückwärtsbewegung $\bar{A}$ in einem Zylinder. Ergibt z. B. die Signalzustandsanalyse, daß im vorliegenden Takt des Ankommens eines Signals, das den Schaltzustand A hervorruft, daß das für den früheren Schaltzustand $\bar{A}$ verantwortliche Signal noch nicht unterdrückt ist, so muß in das Steuersystem ein zusätzliches Speicherelement X eingesetzt werden. Dieses löscht im vorliegenden Takt den unerwünschten Einfluß des den Zustand $\bar{A}$ hervorrufenden Signals. Den Lösungsgang für den vereinfachten Entwurf eines Steuersystems zeigt Bild 2, in dem ein Beispiel

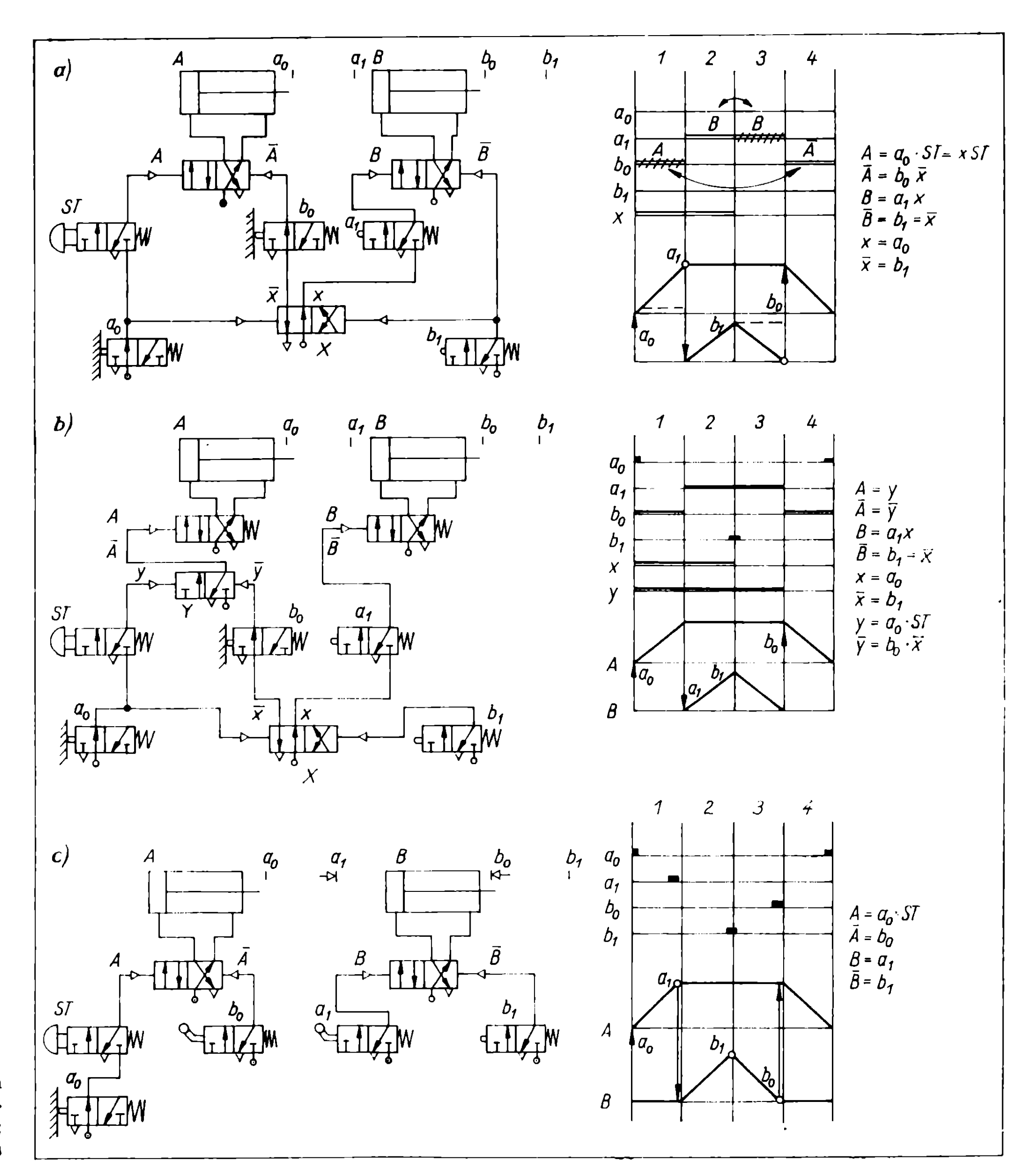


Bild 2. Pneumatisches Folgesteuerungssystem mit:

a) zweiseitig pneumatisch gesteuerten Wegeventilen; b) einseitig pneumatisch gesteuerten Wegeventilen; c) pneumatischen Impuls-Stellrelais

des Bewegungsablaufs für 2 pneumatische Zylinder A und B veranschaulicht ist. Wie aus dem dargestellten Bewegungsablauf zu ersehen ist, entsteht beim Übergang von Takt 2 zu Takt 3 ein Widerspruch zwischen Signal $a1$, das den Bewegungsablauf B ansteuert, und Signal $b1$, das den Bewegungsablauf $\overline{B}$ hervorruft. Um den Bewegungsablauf $\overline{B}$ zu erhalten, muß das Signal $a1$ gelöscht werden, obwohl der Zustand „1" des Endschalters für $a1$ auch im Takt 3 anhält. Das erfolgt durch Einfügen eines Speicherelements X (z. B. Typ PWBL-1, das bei Übergang von Takt 2 zu Takt 3 die Funktion $\overline{B}$ hervorruft. Ein ähnlicher Widerspruch entsteht beim Übergang von Takt 4 zu Takt 1 zwischen dem die Bewegung $\overline{A}$ auslösenden Signal b_0 und dem die Bewegung A auslösenden Signal a_0. Um die Bewegung A in Gang zu setzen, muß die Funktion des Signals b_0 gelöscht werden, obwohl der Zustand „1" des Endschalters für b_0 auch im Takt 1 beibehalten wird. Die Löschung erfolgt durch das Speicherelement X, das beim Übergang von Takt 4 zu Takt 1 die Funktion A hervorruft. Im Ablaufdiagramm (Bild 2a) sind diese Widersprüche, die durch einzufügende Speicherelemente zu lösen sind, mit Pfeilen und schräger Schraffur gekennzeichnet.

Bemerkenswert ist, daß die Realisierung des gleichen Bewegungsablaufes für die gleichen Stellantriebe anders aussieht, wenn zur Zylindersteuerung Wegeventile mit einer durch Feder erzwungenen Stellung (Bild 2b) oder pneumatische Richtungsendschalter mit Impulswirkung (Bild 2c) eingesetzt werden.

Der Einsatz von Wegeventilen mit einer durch Feder erzwungenen Stellung (Bild 2b) erfordert zur Realisierung der gleichen Aufgabe nicht nur eine Analyse der Signalwidersprüche auf dem Bewegungsablaufdiagramm, sondern auch eine Analyse des Zustandes von Signal a_0, das die Bewegung und den Zustand A in den Takten 1, 2 und 3 hervorruft. Da das Signal a_0 nur zu Beginn des Taktes 1 erscheint, muß es über die Takte 1, 2 und 3 aufrechterhalten werden. Dies wird durch Zufügen eines weiteren Speicherelements Y erreicht.

Wie aus Bild 2c zu ersehen ist, fallen die zusätzlichen Speicherelemente weg, wenn zur Realisierung der gleichen Steueraufgabe die vor Ende des Kolbenhubes wirkenden pneumatischen Richtungsendschalter a_1b_0 mit Impulswirkung (z. B. Typ PWPdł) verwendet werden. Das ist möglich, weil die im Widerspruch zueinander stehenden Signale a_1b_1 und a_0b_0 in anderen Takten vorkommen, ohne sich zu beeinflussen.

Mit Hilfe der vorgestellten Methoden lassen sich die logischen Funktionen A, $\overline{A}$, B, $\overline{B}$ sowie die Funktionen X, $\overline{X}$ und Y, $\overline{Y}$ für alle vorgestellten Steuersysteme formulieren. Dann kann das Funktionsdiagramm gezeichnet werden und mit zusätzlichen Bedingungen für typische Befehle, wie START, STOP, NOT-STOP, HAND-AUTOMATIK, EINZELZYKLUS-DAUERBETRIEB usw., ergänzt werden, und schließlich kann der Bauschaltplan mit allen Leitungsverbindungen des Steuersystems bearbeitet werden.

Die Anwendung der beschriebenen Methoden setzen zur Lösung komplizierter Steuersysteme beträchtliche Erfahrung des Projektanten voraus, um den Zustand aller sich widersprechenden Befehle zu analysieren und die Erscheinung des sog. „Befehlswettlaufes", der bei gleichzeitiger Zustandsänderung von mehreren Speichern während des Überganges von einem zu dem nächsten Takt in Erscheinung tritt, auszuschließen.

Um den Lösungsgang für den Entwurf eines pneumatischen Steuersystems zu erleichtern, wurden im INTEPNEDYN-System sog. Takt-Speicherblöcke (Taktstufen) entwickelt, die aus den pneumatischen Speicherelementen MPP-1 [1] und [3] bestehen. Bild 3a zeigt den Logikplan des Speicherblockes, der aus MPP-1-Elementen (pneumatische Flip-Flops) aufgebaut ist, wobei jedes Element einen Speichertakt vertritt.

Der Entwurf von Steuersystemen unter Anwendung von Taktspeicherblöcken beruht auf einer Einteilung der Steuersystemwirkung in aufeinanderfolgende Takte (Zustände), die praktisch gesehen den nacheinanderfolgenden Zuständen der Antriebselemente (Verbraucher) im Steuersystem entsprechen, z. B. Lageänderung der Kolben in Zylindern, Speisedruckänderung der Verbraucher, Ein- bzw. Ausschalten der Motoren usw. Jedem Takt, der einem Ausgangssignal y des Steuersystems entspricht, wird ein bestimmtes Speicherelement Q zugeordnet (Bild 3a):

$$y_1 = Q1\,, \quad y_2 = Q2\,, \quad y_n = Qn\,.$$

Beispielsweise ist die Einschaltung des 4. Speichers $Q4 = 1$ möglich, wenn im vorangehenden Takt das Signal $Q3 = 1$ vorkommt und wenn das den Übergang zum 4. Takt erzwingende Signal x_4 erscheint, das durch den Zustand der Antriebselemente nach Abschluß des 3. Taktes gebildet wird.

Die Signale, die die nacheinanderfolgenden Speicher einschalten, werden mit einer allgemeinen Funktion wie folgt beschrieben:

$$Wi = Q_{i-1} \cdot x_i\,.$$

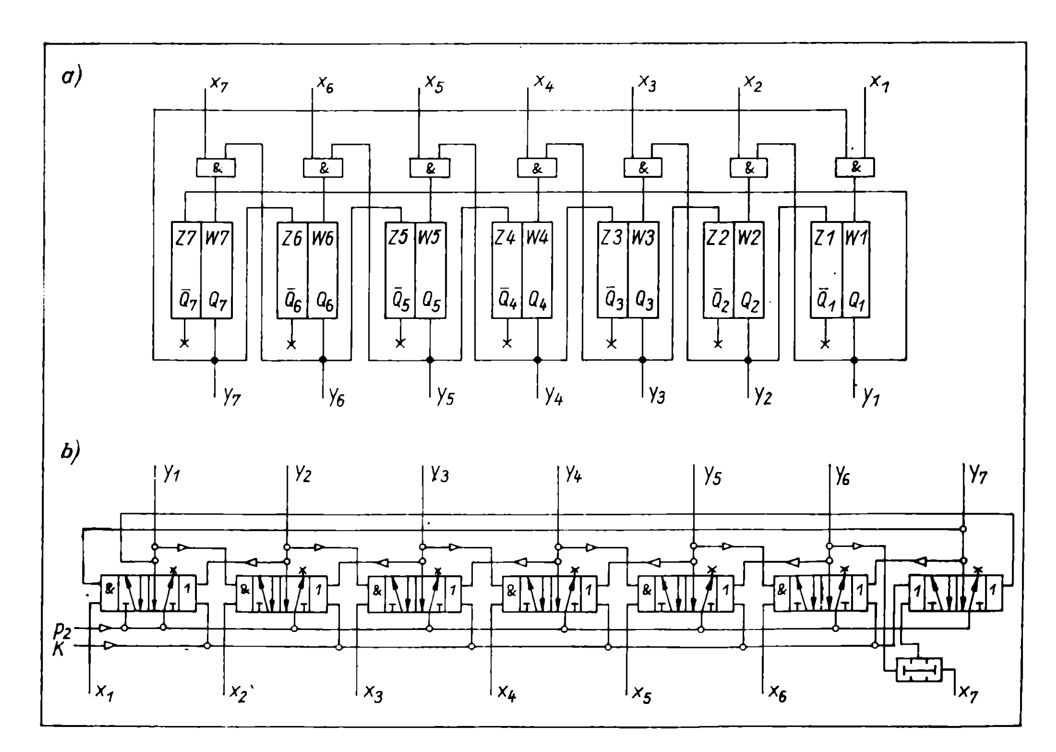


Bild 3. Pneumatischer Taktspeicherblock (Taktstufe)
a) Logikplan, b) Standard-Speicherblock

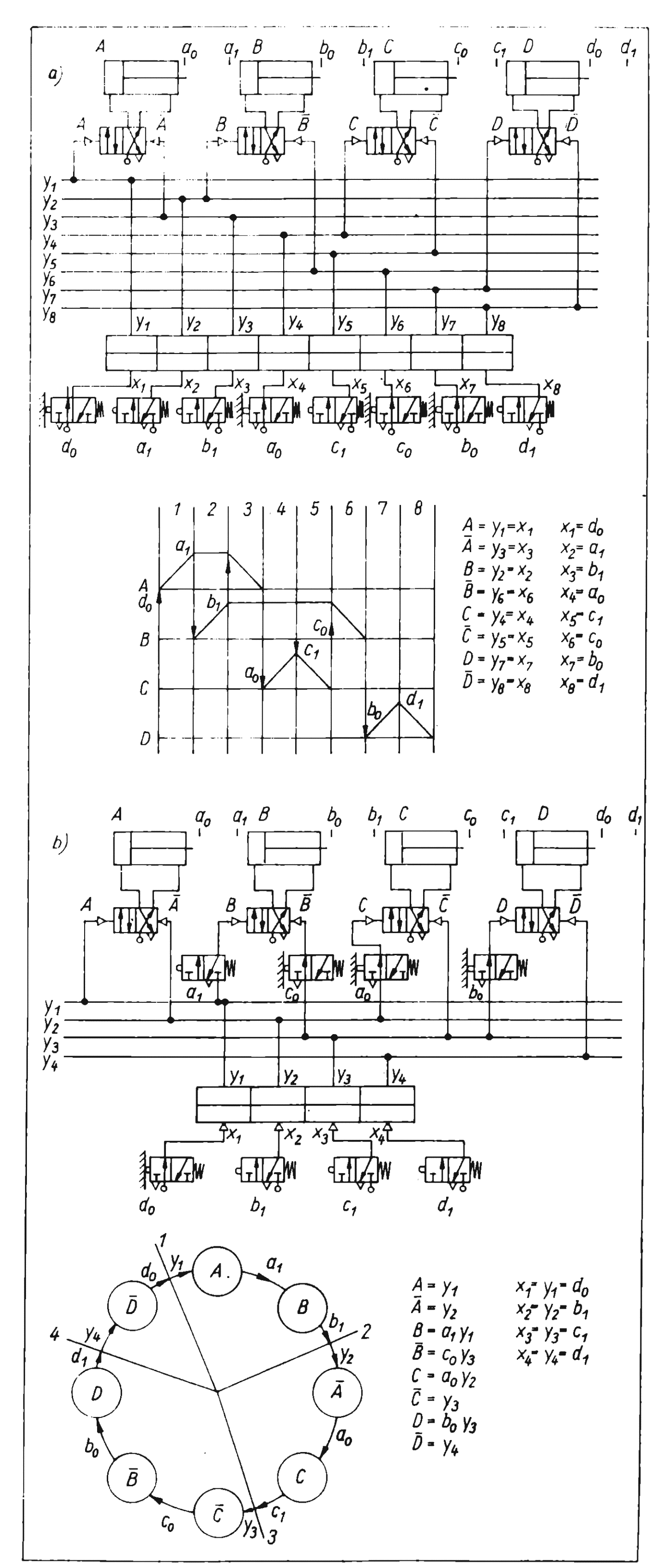


Bild 4. Pneumatisches Folgesteuerungssystem

a) mit pneumatischem Taktspeicherblock (nicht minimiert); b) mit pneumatischem Taktspeicherblock (minimiert)

Für den ersten Takt nimmt diese Funktion die Form

$$W1 = Qn \cdot x_1$$

an. Eine Löschung des 4. Speichers, d. h. ein Verschwinden des $Q4$-Signals, erfolgt z. B. im Augenblick des Erscheinens von Signal $Q5 = 1$ am Ausgang des nächsten Speichers, d. h. bei Übergang des Steuersystems zum nächsten Takt. Für die Speicherlöschsignale gilt die allgemeine Funktion: $Zi = Qi + 1$, die für den letzten Speicher die Form $Zn = Q1$ annimmt.

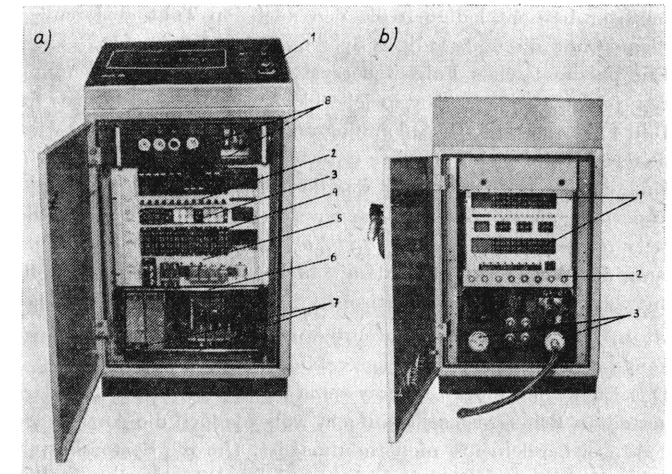


Bild 5. Universelle pneumatische Steuereinheit USP (MERA-PIAP)

a) Vorderansicht:
1 Steuerpult; *2* Taktspeicherblock; *3* Taktanzeige; *4* logische Glieder für Startauslösung und für Handeingabe aus Steuerpult; *5* Auslösungssperrglieder für die aufeinanderfolgenden Takte; *6* Ausgabeelemente; *7* Steuerventile für Zylinder der Stelleinheit; *8* elektrische Sicherungen und pneumoelektrische Relais für Verkettung der pneumatischen und elektrischen Elemente der Regelstrecke

b) Rückansicht (Tür geöffnet):
1 Anschlußplatte; *2* pneumatische Mehrleitungskupplung für die Ein- und Ausgänge des Zentralteiles; *3* pneumatische Mehrleitungskupplung für die Verbindung der Steuereinheit mit der Anlage und der Versorgungseinheit; *4* Druckluft-Wartungseinheit

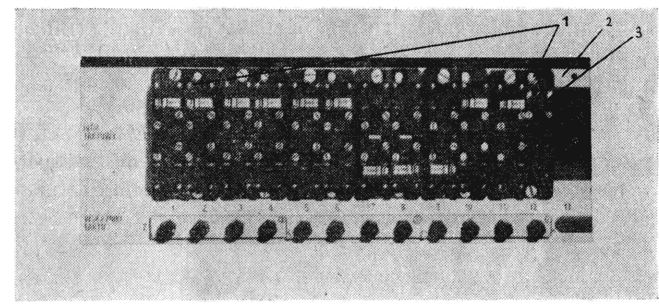


Bild 6. Taktspeicherblock für 11 Takte aus INTEPNEDYN-Speicherelementen (Typ MPP-1) aufgebaut

1 Speicherelemente; *2* Anschlußplatten; *3* UND-Element (Typ MKB); *4* pneumatische Taktanzeige (Typ MWS)

Bild 3b zeigt einen Standard-Speicherblock, der in einfachen Folgesteuersystemen eingesetzt wird und der aus z. B. 7 pneumatischen Kleinst-Flip-Flops MPP-1 gebildet wird. Das Signal K ist ein Löschsignal (Nullsetzsignal) für den ganzen Taktspeicherblock, der dadurch in den Zustand $y_1 = y_2 = y_3 = y_4 = y_5 = y_6 = 0$ und $y_7 = 1$ versetzt wird. Pz ist der Speisedruck des Blockes.

Der dargestellte Block kann in verschiedenen Varianten aufgebaut werden, wobei sich die einzelnen Varianten durch ihre Verbindungen unterscheiden. So existieren z. B. Speicherblöcke, die einen Sprung vom „i"-Takt zum „p"-Takt ausführen, Speicherblöcke, die eine mehrmalige Wiederholung der Takte von „i" bis „p" ergeben, Speicherblöcke, bei denen ein Zyklusabschnitt zwischen „i"- und „p"-Takten auf zwei verschiedenen Wegen geführt wird, und andere. Speicherblöcke in den angegebenen Varianten werden auf Kundenwunsch vom Hersteller geliefert oder es werden dem Kunden Anweisungen zur selbständigen Programmierung gegeben.

Der Entwurf von Steuersystemen unter Anwendung von Taktspeicherblöcken wird dadurch vereinfacht, daß der Projektant vor dem Übergang zum nächsten Takt den Zustand der Steuersystemelemente im vorangegangenen Takt nicht betrachten

muß, er braucht lediglich die den nächsten Takt auslösenden Signale und die notwendigen Sperrungen zu bestimmen.
Ein pneumatisches Folgesteuersystem, das unter Anwendung des pneumatischen Taktspeicherblocks gelöst wurde, ist im Bild 4a dargestellt. In Anlehnung an das Ablaufdiagramm wurde das Arbeitsspiel in 8 Takte unterteilt. Das Auslösen der nacheinanderfolgenden Takte — was dem Einschalten der nacheinanderfolgenden Speicherblöcke entspricht — erfolgt durch die pneumatischen Stellrelais d_0, a_1, b_1, a_0, c_1, c_0, b_0, d_1. Die zur Steuerung der Wegeventile und damit auch zur Steuerung der Stellantriebe dienenden pneumatischen Signale werden in der Folge A, B, $\overline{A}$, C, $\overline{C}$, $\overline{B}$, D, $\overline{D}$ durch die nacheinanderfolgenden Ausgänge des Taktspeicherblockes gebildet.
Das Entwerfen eines Steuersystems nach dem im Bild 4a dargestellten Prinzip ist sehr einfach, wobei jedoch die Anzahl der Taktspeicherelemente nicht minimal ist. Um die Systemkosten zu erniedrigen, kann eine einfache, im Bild 4b dargestellte Systemminimierung eingeführt werden. Dazu wird ein Diagramm der Übergänge gezeichnet und so eingeteilt, daß in den einzelnen Teilen keine entgegengesetzten Wirkungen, z. B. A und $\overline{A}$, vorkommen. Auf den Diagrammtrennlinien werden die Taktspeicher, im betrachteten Beispiel Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, eingeführt. Als Auslösesignale für die einzelnen Taktspeicher gelten $x_1 = d_0$, $x_2 = b_1$, $x_3 = C_1$, $x_4 = d_1$. Die Endschalter a_0, a_1, b_0 und C_0 werden über die Ausgänge des Taktspeicherblocks gespeist.
Zur weiteren Vereinfachung der Entwurfsarbeit und der Lieferung von mit INTEPNEDYN-Elementen aufgebauten, pneumatischen und elektropneumatischen Steuersystemen ist die Anwendung der pneumatischen bzw. elektropneumatischen Steuereinheiten der Typen USP bzw. UESP zweckmäßig (Bilder 5 und 6).
In diesen Steuereinheiten sind alle für den Aufbau eines Steuersystems notwendigen Elemente enthalten:

a) Zentralteil mit pneumatischem bzw. elektrischem Taktspeicherblock, mit dem Standardblock zur Ausführung der Befehle START, STOP, EINZELZYKLUS — DAUERBETRIEB usw. und mit der zentralen Anschlußplatte, die zur Herstellung der für den geforderten Arbeitszyklus nötigen Leitungsverbindungen bestimmt ist
b) pneumatische bzw. elektropneumatische Ausgangseinheit mit pneumatischen bzw. elektropneumatischen Wegeventilen (z. B. Typ WPEp, PWBL-1, PWELw usw.)
c) Steuerpult mit Tastern
d) elektrische Anschlußeinheit
e) Druckluftzuführungs- und Wartungseinheit mit Filter, Ölnebelgerät und Reduzierventil
f) Sonderzubehör, u. a. Schaltschütze zur Motorsteuerung, Zeitbaueinheiten usw.

Vom Hersteller werden die zum gewünschten Steuersystem passende Steuereinheitsgröße und das Zubehör ausgewählt. Der Anwender kann die vom Hersteller gelieferte Steuereinheit auch selbst an die jeweilige Steuerungsaufgabe anpassen.

Literatur

[1] *Badowski, A.; Krechowiecki, W.:* Diskrete pneumatische Hochdruckelemente als moderne Automatisierungsmittel für Maschinen und Anlagen (in Poln.). Warschau: Polytechnikum Warszawski 1981.
[2] *Bissinger, N.; Meixner, H.:* Einfache Speicher- und Verknüpfungsschaltungen. Firmenprospekt der Fa. Festo Eßlingen 1979.
[3] *Krechowiecki, W.:* INTEPNEDYN — ein System pneumatischer diskreter Steuerelemente. msr, Berlin 26 (1983) 12, S. 662–667.
[4] *Stawiarski, D.:* Pneumatische Einrichtungen in Werkzeugmaschinen und Geräten (in Poln.). Warschau: Wydanictwa Naukowo-Techniczne 1975.
[5] *Stawiarski, D.:* Automatisierung von Werkzeugmaschinen (in Poln). Warschau: Wydanictwa Naukowo-Technicze (in Vorbereitung).
[6] *Wassmer, A.:* Projektierung mit pneumatischen Taktketten. Druckluftpraxis (1979) 6.
[7] *Węsierski, Ł.; Łebkowski, P.:* Projektierung pneumatischer Systeme (in Poln.). Kielce: Wydanictwa NOT 1980.
[8] *Węsierski, Ł.:* Probleme der Analyse und Synthese von diskreten Flüssigkeitssystemen (in Poln.). Krakow: Wydawnictwa AGH 1982.

msr 7847

Dr.-Ing. *T. Gałązka* und Dipl.-Ing. *D. Stawiarski*, Warschau[1])

Maschinen- und Anlagenautomatisierung unter Anwendung pneumatischer Elemente des INTEPNEDYN-Systems

IA 4.0.2.2.

0. Einleitung

Auch in industriell hoch entwickelten Ländern ist es unmöglich, innerhalb einer kurzen Zeit alle früher installierten Anlagen und Maschinen durch solche zu ersetzen, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen. Es entsteht insbesondere die Frage, ob sich die älteren Werkzeugmaschinen in wirtschaftlich vertretbaren Grenzen so modernisieren lassen, daß sie der fortgeschrittensten Technik annähernd entsprechen. Ziele der Modernisierung sind z. B.:

— Erhöhung der Maschinenleistung ohne Beeinträchtigung der Bearbeitungsgenauigkeit
— Mehrmaschinenbedienung durch eine Person
— Erniedrigung des Arbeitsaufwandes und der körperlichen Belastung des Bedienungspersonals
— Verbesserung der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes
— Verlängerung der Standzeit der Werkzeuge bei gleichzeitiger Qualitätssteigerung der Werkstücke.

Eine bewährte Methode, die genannten Ziele zu erreichen, ist eine fortgeschrittene Automatisierung sowohl der neuen als auch der bereits in der Industrie betriebenen einfachen Werkzeugmaschinen, bei denen der Automatisierungsgrad sehr gering ist. Unter einfachen Werkzeugmaschinen sind z. B. Tischbohrmaschinen, Werkzeugschleifmaschinen, Trennschleifmaschinen und Fräsmaschinen zu verstehen.
Die weiteren Betrachtungen werden in der Hauptsache auf solche einfachen Werkzeugmaschinen beschränkt, die einen erheblichen Anteil an allen in der Maschinenbauindustrie installierten Werkzeugmaschinen darstellen und die vor allem bei der Klein- und Mittelserienfertigung eingesetzt werden.
Zur Automatisierung derartiger Maschinen werden billige Automatisierungsmittel benötigt, die sich funktionsmäßig in die Werkzeugmaschinen integrieren lassen. Als solche werden in der

[1]) Mitteilung aus dem Institut für Automatisierung und Messungen Warschau. Der Beitrag wurde von Dr.-Ing. *A. Schwarz*, AdW der DDR, ZfK Rossendorf, bearbeitet.

VR Polen die hauptsächlich im Rahmen des INTEPNEDYN-Systems entwickelten pneumatischen und elektropneumatischen Hochdruck-Elemente und Einrichtungen betrachtet.
Folgende Faktoren sind für die Wahl des INTEPNEDYN-Systems zur Automatisierung einfacher, spanabhebender Werkzeugmaschinen sowie technologischer und robotisierter Arbeitsstationen entscheidend:

- Niedriger Preis der mit INTEPNEDYN-Elementen aufgebauten Steuersysteme
- Gleiche Nenndrücke der Speisedruckluft für Steuersystemelemente und für Stelleinrichtungen
- Niedrige Anforderungen an die Druckluftqualität (die INTEPNEDYN-Elemente können sowohl mit entölter als auch mit ölhaltiger Luft betrieben werden, wobei Festkörper größer als 40 µm abfiltriert sein müssen)
- Betriebssicherheit der INTEPNEDYN-Elemente bei bedeutenden Luftdruckschwankungen von 0,25 bis 0,8 MPa
- Reiche Auswahl an pneumoelektrischen und elektrischen Wandlern ermöglicht den Bau von gemischten bzw. unterschiedlich komplizierten Steuersystemen
- Zur Automatisierung der Linearbewegungen in Werkzeugmaschinen können Druckluftzylinder eingesetzt werden, die praktisch bis zum Nenndurchmesser ⌀ 32 über pneumatische INTEPNEDYN-Elemente der Nennweite ⌀ 3 direkt gesteuert werden können
- Vereinheitlichung pneumatischer Systemelemente mit anderen Regelungssystemen, z. B. Eingabeglieder mit entsprechenden Elementen elektrischer Steuersysteme. Es können die gleichen vereinheitlichten Steuerschränke und -pulte wie bei elektrischen Systemen eingesetzt werden.

Außer dem Hauptanwendungsgebiet, das im weiteren Teil des Beitrages ausführlich beschrieben wird, werden die INTEPNEDYN-Elemente auf folgenden Gebieten erfolgreich eingesetzt:

- Maschinen und verfahrenstechnische Anlagen der Lebensmittelindustrie
- Holzbearbeitung in Möbelfabriken
- Gießereitechnik
- Hütten-, Kohlen- und Chemieindustrie.

1. Ausgewählte Beispiele unter Anwendung von INTEPNEDYN-Elementen automatisierter Werkzeugmaschinen

Unter Anwendung der Elemente und Einrichtungen des INTEPNEDYN-Systems wurden vor allem folgende Steuersysteme entwickelt und in Industriebetrieben eingeführt:

- Steuersysteme für automatisierte einfache Werkzeugmaschinen
- Steuersysteme für Bearbeitungsstationen (technologische Stationen) oder Werkzeugmaschinen mit Industrierobotern.

Auf dem Gebiet der einfachen automatisierten Werkzeugmaschinen wurden Steuersysteme für folgende Maschinen realisiert:

- Tischbohrmaschinen
- Trennschleifmaschinen
- Werkzeugschleifmaschinen
- Fräsmaschinen
- Kleinmaschinenaggregate.

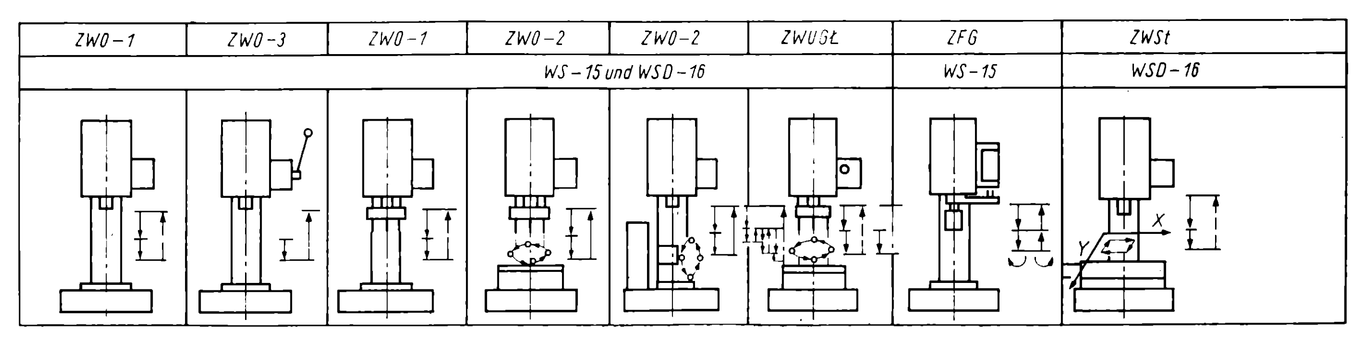
1.1. *Automatisierte Tischbohrmaschinen*

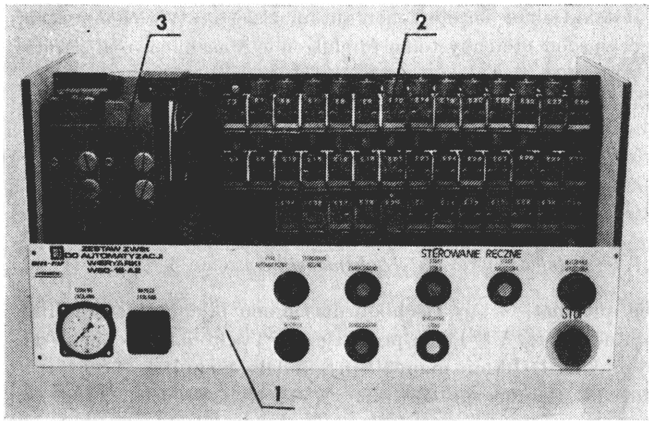
Die automatisierten Tischbohrmaschinen bilden eine Modifikation der in der VR Polen produzierten Tischbohrmaschinen WS-15 und WSD-16 mit manuellem Spindelvorschub. Das Sortiment und die Bauformen der mit INTEPNEDYN-Elementen von MERA-PIAP automatisierten Tischbohrmaschinen sind aus Bild 1 zu ersehen.
Die Grundbauformen der Tischbohrmaschinen sind:

- Automatisierte Tischbohrmaschine mit pneumohydraulischem Spindelvorschub und mit Mehrspindelbohrköpfen als Sonderzubehör — Ausführung ZWO-1.
- Automatisierte Tischbohrmaschine mit pneumohydraulischem Spindelvorschub, Mehrspindelbohrköpfen und pneumatischem Kreisteiltisch — Ausführung ZWO-2.
- Automatisierte Tischbohrmaschine mit pneumohydraulischem Bohrervorschub und Spindelrücklauf sowie mit Handhebel zur manuellen Bohrereinführung in die Bohrbuchse einer Bohrvorrichtung — Ausführung ZWO-3.
- Automatisierte Tischbohrmaschine mit pneumohydraulischem Spindelvorschub, geeignet für das Tiefbohren (d. h. mit periodischem Bohrerrücklauf zur Spänebeseitigung) und mit Mehrspindelbohrköpfen sowie zusätzlich mit pneumatischem Kreisteiltisch — Ausführung ZWUGŁ.
- Automatisierte Tischbohrmaschine mit pneumohydraulischem Spindelvorschub und mit pneumatischem Sonder-Koordinatentisch — Ausführung ZWSt.
- Automatisierte Tischbohrmaschine mit pneumohydraulischem Spindelvorschub und mit pneumatischem Kreisteiltisch als Sonderausrüstung. Der Arbeitszyklus kann für das Bohren bzw. für das Gewindeschneiden eingestellt werden — Ausführung ZFG.

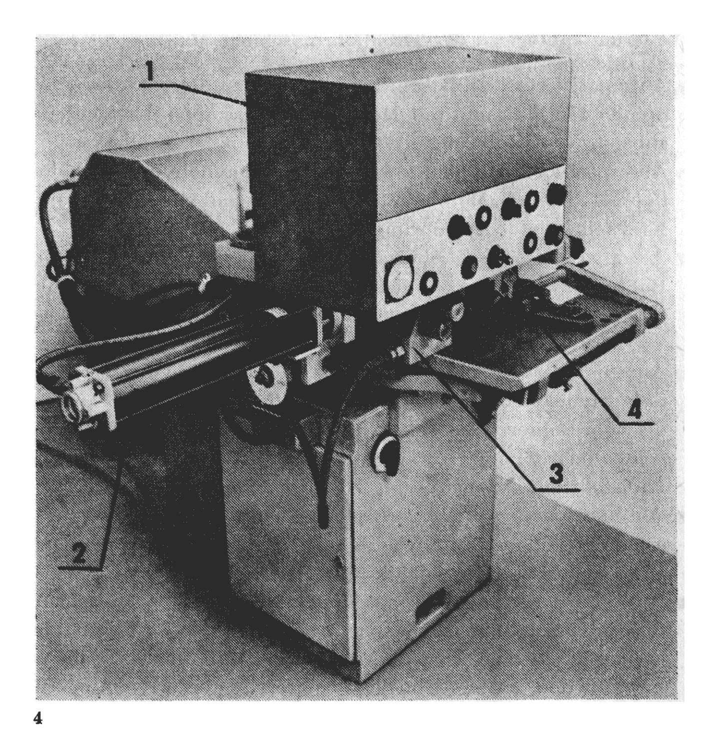
Die zur Steuerung der automatisierten Tischbohrmaschinen eingesetzten INTEPNEDYN-Elemente sind in Schaltschränken untergebracht.
Ein Schaltschrank (Bild 2) enthält das Steuerpult zur Bearbeitungsdatenvorgabe, zur Einstellung der für die einzelne Maschinenausführung charakteristischen Arbeitszyklen und zur Auslösung der Maschinenfunktionen START, STOP, NOT-AUS, EINSTELLUNG, WERKSTÜCKSPANNEN, WERKSTÜCKLÖSEN usw., den Zentralteil 2 mit INTEPNEDYN-Logik- und Steuerelementen und den Stellteil 3 mit pneumatischen Schieberventilen, Nennweite 3/8″.

Bild 1. Schematische Darstellung der Steuersysteme für die Tischbohrmaschinen Typ WS-15 und WSD-16
die automatisierten Bewegungsarten, wie Spindel-Schnellvorlauf, Bohrvorschub, Spindel-Schnellrücklauf, Werkstückdrehung, Tischvorschub usw., sind mit Pfeilen gekennzeichnet

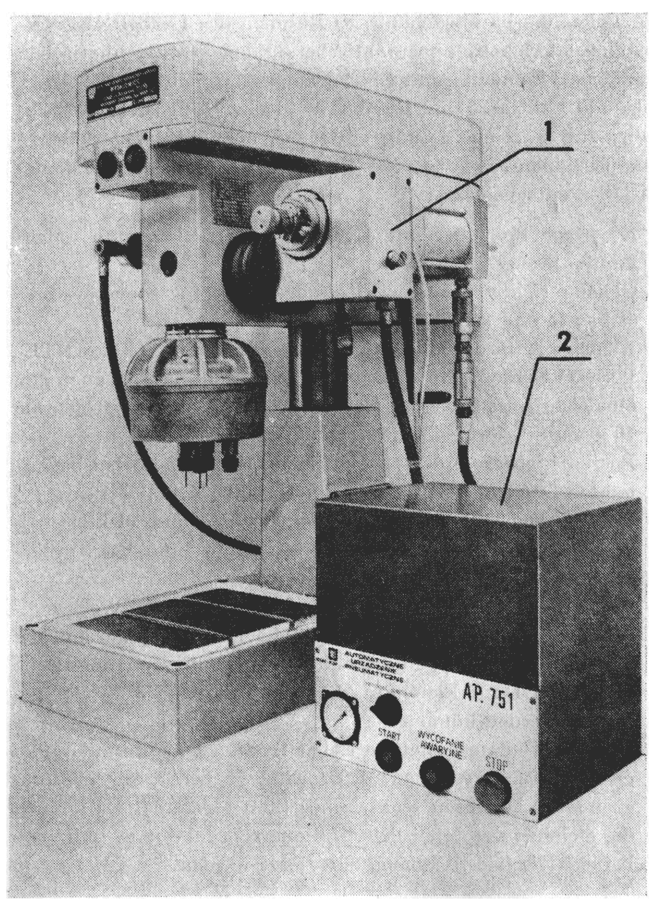




2



4



3

Bild 2. Schaltschrank des ZWS-Satzes zur Automatisierung der WSD-Bohrmaschine

Bild 3. Automatisierte Tischbohrmaschine mit Mehrspindelbohrkopf

Bild 4. Automatisierte Trennschleifmaschine BSA-5

Eine automatisierte Tischbohrmaschine WSO-16 in der Ausführung ZWO-1 zeigt Bild 3. Darin ist auch der von MERA-PIAP entwickelte pneumohydraulische Zylinder zum Antrieb des Bohrvorschubes und der Steuerschrank gezeigt.
Technische Hauptdaten der automatisierten Tischbohrmaschinen sind:

— Maximaler Bohrungsdurchmesser	∅ 16 in Stahl
— Maximale Gewindebohrung	M 10
— Vorschubbereich	50 ... 600 mm/min
— Eilgang	5000 mm/min
— Speiseluftdruck	0,4 ... 0,6 MPa
— Druckluftverbrauch	etwa 150 NL/min bei 10 Bohrgängen/min.

1.2. *Automatisierte Trennschleifmaschine BSA-5/AP-7512*

Die automatisierte Trennschleifmaschine BSA-5/AP-7512 ist eine Ausführung der in der VR Polen produzierten Hand-Trennschleifmaschine BSA mit Handaufgabe des Werkstoffes, Handspannen und manueller Verschiebung der Schleifscheibe. Nach der Automatisierung hat die Trennschleifmaschine folgende technische Daten:

— Maximaler Durchmesser des zu schneidenden Werkstückes:	40 mm
— Vollautomatischer Arbeitszyklus	Transport des Halbzeuges auf die eingestellte Werkstücklänge, Spannen, Trennschleifen, Rücklauf der Schleifscheibe, Werkstücklösen, Transport des Halbzeuges, Spannen usw., bis das Halbzeug zu Ende bzw. bis die Schleifscheibe abgenutzt ist
— Länge der im automatischen Arbeitszyklus abgetrennten Werkstücke	30 ... 300 mm
— Vorschubgeschwindigkeitsbereich der Schleifscheibe:	10 ... 80 mm/s.

Eine automatisierte Trennschleifmaschine zeigt Bild 4, wo auch der die INTEPNEDYN-Elemente enthaltende Schaltschrank *1* dargestellt ist.

1.3. *Automatisierte Werkzeugschleifmaschine NUA 25*

Die automatisierte Werkzeugschleifmaschine NUA-25 ist eine Ausführung der in der VR Polen produzierten Werkzeugschleifmaschine NUA-25, bei der durch Einsatz entsprechender pneumatischer Steuerelemente die manuellen Vorschübe des Tisches (Längs- und Querschub) durch automatische Tischvorschübe ersetzt wurden (Bild 5).

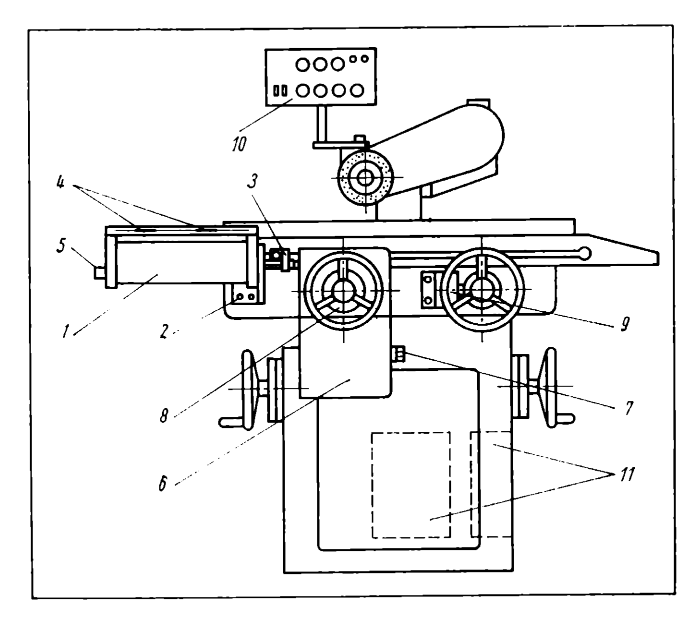
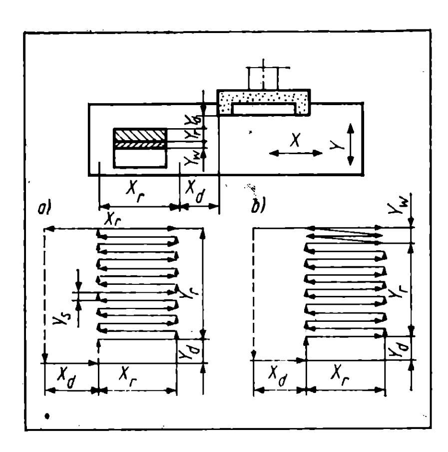


Bild 5. Automatisierte NUA-25-Schleifmaschine

1 pneumohydraulische Antriebseinheit; *2* Ständer; *3* Koppelglied; *4* Anschläge; *5* Drossel; *6* Quervorschubgetriebe; *7* Einstellschraube für Quervorschubgröße; *8* Skalenring; *9* Sicherheitseinrichtung — sie verhindert die Einschaltung des automatischen Vorschubes bei eingerücktem Handrad für Handvorschub; *10* Steuerpult; *11* Steuersystem

Bild 6. Arbeitszyklusdiagramme der automatisierten NUA-25-Schleifmaschine



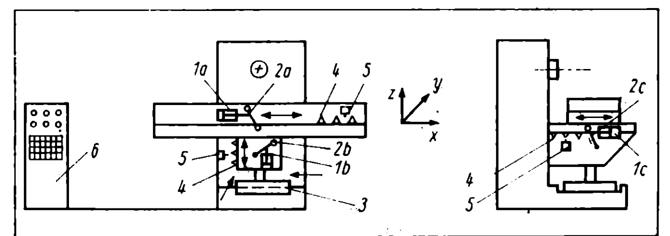


Bild 7. Schematische Darstellung der automatisierten FWD-25-Fräsmaschine
die automatisierten Bewegungen sind mit Pfeilen gekennzeichnet

Der Arbeitszyklus wird mit Hilfe der Handtaster vom Steuerpult *10* aus gesteuert. Die Steuerung und Kontrolle der Tischbewegungen, die entsprechenden Verriegelungen und die Sicherungen werden durch das zum größten Teil mit elektro-pneumatischen INTEPNEDYN-Elementen aufgebaute Steuersystem *11* gewährleistet.

Die Arbeitsbewegungen des Maschinentisches sind aus Bild 6 ersichtlich. Bei manueller Längsverschiebung des Tisches in der X-Achse wird der gewünschte Längshub des Maschinentisches X_r mit Hilfe der Anschläge in der Antriebsbaugruppe eingestellt. Die Schleifscheibe wird nun manuell in Richtung der Y-Achse bis zum Anfeuern des Werkstückes verstellt (Abschnitt Y_d). In diesem Punkt wird die Größe der Tischquerbewegung Y_r sowie der Wert des Quervorschubes Y_s je Tischhub vorgewählt und der automatische Längs- und Quervorschub ausgelöst. Nach erfolgter Querverschiebung des Tisches in die vorgewählte Lage Y_r wird der Längs- und Quervorschub automatisch stillgesetzt, und der Tisch kann manuell in die linke Ausgangslage gefahren werden. Je nach der gewünschten Oberflächenqualität wird die Bearbeitung damit abgeschlossen, bzw. für kurze Zeit wird der Längsvorschub zwecks Ausfeuern eingeschaltet, und erst dann wird der Tisch in seine Ausgangsstellung in Richtung Y zurückgefahren. Nach Entfernen des fertigen Werkstückes wird das neue eingespannt und der neue Bearbeitungszyklus kann ausgelöst werden.

Um höhere Oberflächengüte zu erreichen, ist das Feinschleifen auf dem Abschnitt Y_w (Bild 6, Diagramm b) bei automatischem Längsvorschub und bei manuellem Quervorschub mit periodischen Werkstückmessungen durchzuführen.

Zweckmäßig ist es, für die automatisierte Schleifmaschine einen Meßsatz zur aktiven Kontrolle der Werkstückabmessungen einzusetzen. Das Steuersystem der automatisierten Werkzeugschleifmaschine NUA-25 ist für den Anschluß des von der Firma KPN VIS FWP „Karol Swierczewski" Warszawa produzierten Meßsatzes MDNf-B (BIMETER-1) ausgelegt.

Das Steuersystem der automatisierten Werkzeugschleifmaschine NUA-25 kann, nach kleiner Erweiterung, auch weitere Zusatzvorrichtungen, wie pneumatisch und elektrisch betätigte Aufgabe- und Spannvorrichtungen, Teilgeräte usw., betätigen. Zusätzlich wurde die automatisierte Werkzeugschleifmaschine NUA-25 mit einem automatischen Teilapparat für Fräser- und Reibahlenschleifen ausgerüstet. Dieser Teilapparat wird über die weiter unten beschriebene Steuereinheit USEP gesteuert.

1.4. *Automatisierte Fräsmaschinen*

An die im Bild 7 dargestellten Konsolenfräsmaschine Typ FWD-25 mit elektromechanischem Tischantrieb in der X-, Y- und Z-Achse, der über die Hebel *2a* (X-Achse), *2b* (Y-Achse) und *2c* (Z-Achse) betätigt wird, wurden drei pneumatische 3-Stellungs-Zylinder *1a*, *1b* und *1c* zur Umsteuerung der angeführten Betätigungshebel sowie ein pneumatischer Zylinder *3* zur Absenkung der gesamten Maschinenkonsole während des Tisch-Eilrücklaufes nach Abschluß der Werkzeugbearbeitung angebaut.

Die FWD-25-Fräsmaschinen wurden zusätzlich mit Nockenleisten *4* und elektrischen Mikroschaltern *5* ausgerüstet. Die Nockenstellung auf den Leisten bestimmt die Zeitpunkte der Umschaltung vom Eilgang auf Vorschub (Einrücken einer Magnetkupplung) und der Auslösung des Arbeitszyklus. Die Steuerung der Fräsmaschine wird über ein elektropneumatisches Steuersystem mit einem Programmierfeld (Diodenmatrix) zur Vorwahl der Bewegungsfolge und des Bearbeitungszyklus sowie mit WPPe-2-Elementen des INTEPNEDYN-Systems, die die Druckluftzylinder *2* und *3* betätigen, realisiert.

Die beschriebene Automatisierung der FWD-25-Fräsmaschinen wird in der VR Polen auf Kundenwunsch bei der Generalüberholung der Maschine vom Kombinat Remontowy PONAR-REMO durchgeführt. Eine automatisierte Fräsmaschine zeigt Bild 8, während die Ausrüstung des Schaltschrankes mit dem aus INTEPNEDYN-Elementen aufgebauten Steuersystem aus Bild 9 ersichtlich ist.

1.5. *Pneumatisch angetriebene und gesteuerte kleine Maschinenaggregate*

In vielen Betrieben werden zur Bearbeitung von verschiedenen Kleinwerkstücken mit mehreren Bohrungen (∅ 1 ... 6), die oft in kleinen Abständen und in verschiedenen, sich gegenseitig durchdringenden Ebenen anzubringen sind, die mit pneumatischen Bearbeitungseinheiten zum Bohren bzw. Gewindeschneiden aufgebauten Maschinen vorteilhaft eingesetzt. Bei solchen aus Bearbeitungseinheiten bestehenden Maschinen beruht das

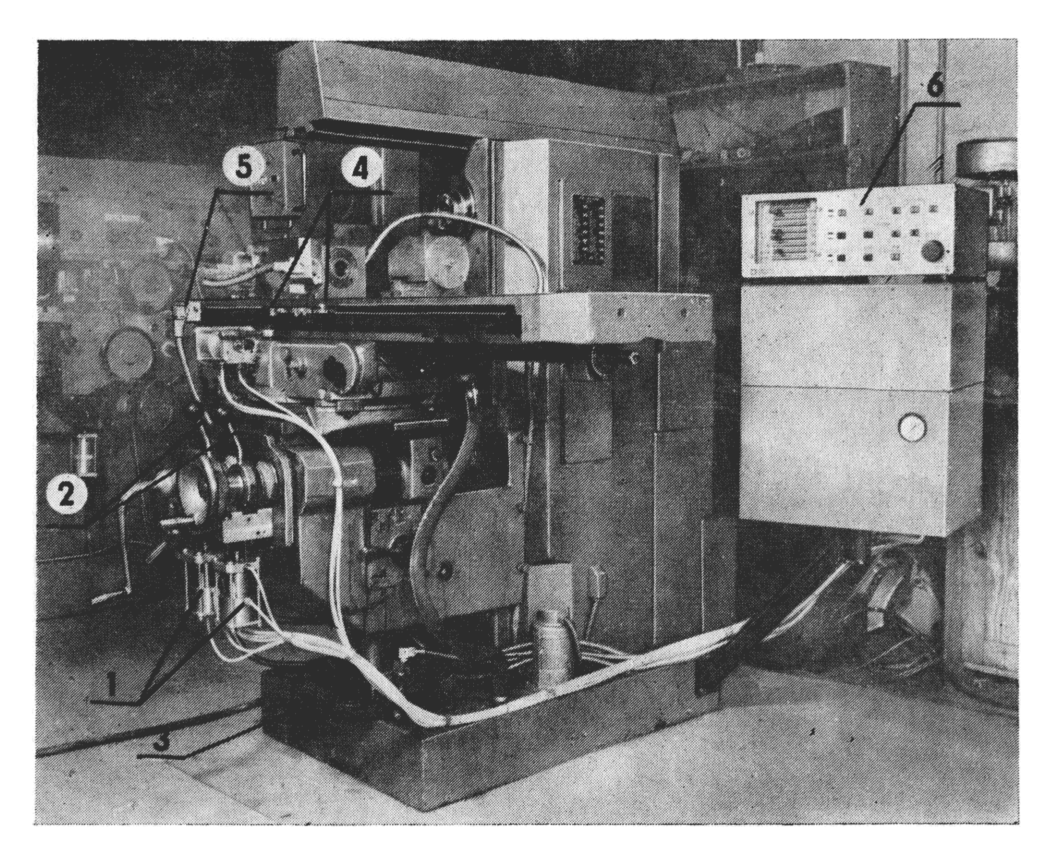


Bild 8. Automatisierte FWD-25-Fräsmaschine

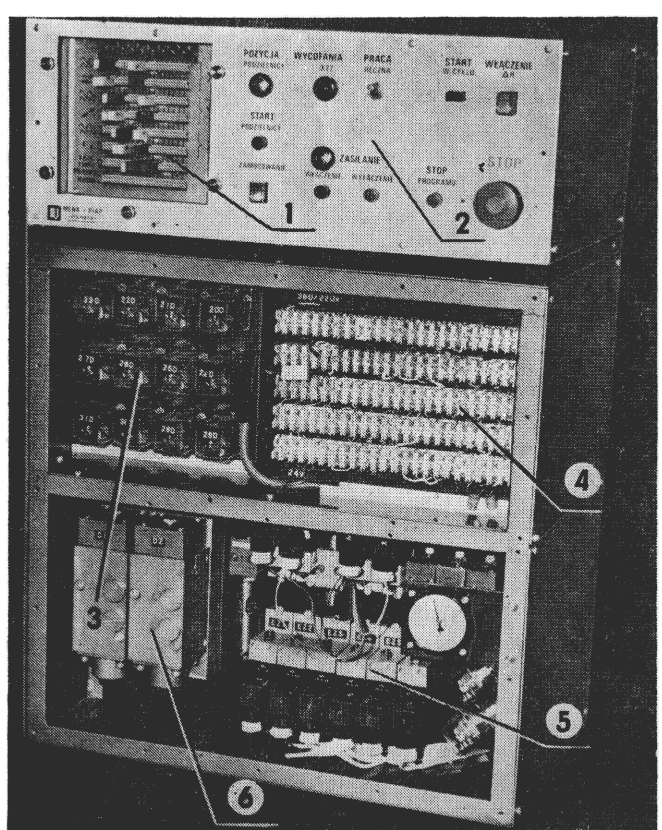


Bild 9. Innenraum des Schaltschrankes mit Steuersystem

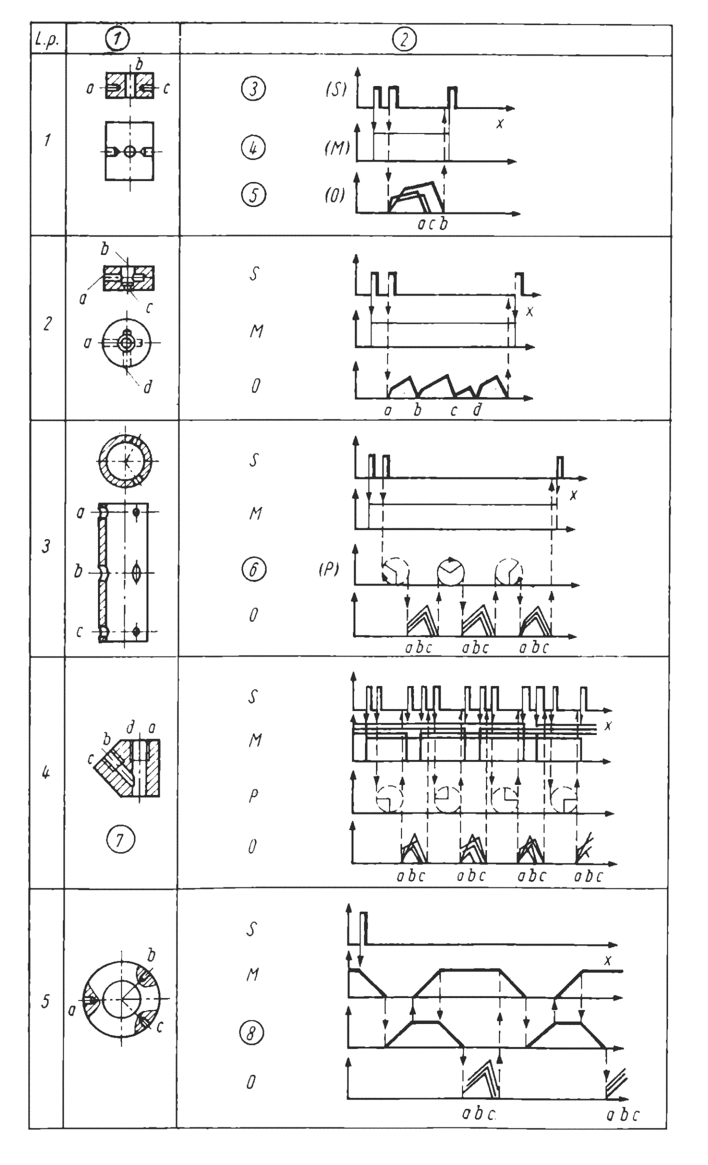


Bild 10. Beispiele von Bearbeitungszyklusdiagrammen für Kleinbearbeitungsmaschinen ▼

1 Werkstück; *2* Arbeitsdiagramm; *3* Steuersignale *S*; *4* Spannen *M*; *5* Bearbeitungseinheiten *O*; *6* Kreisteiltisch *P*; *7* vier Werkstücke auf dem Maschinentisch; *8* Zubringer

Aufbauprinzip auf der Verknüpfung handelsüblicher Elemente, Geräte und Einheiten, wie Spannzeuge und Montagesäulen, pneumatische Kreiselteiltische, Mehrspindelbohrköpfe usw. mit spezialisierten Baugruppen, wie Spannvorrichtungen, Steuerpulte, Steuerschränke, Maschinengestelle und eventuell auch Zubringe- und Ladevorrichtungen.

Bei der praktischen Realisierung solcher Maschinenaggregate wird vorausgesetzt, daß die Bearbeitungseinheiten von dem

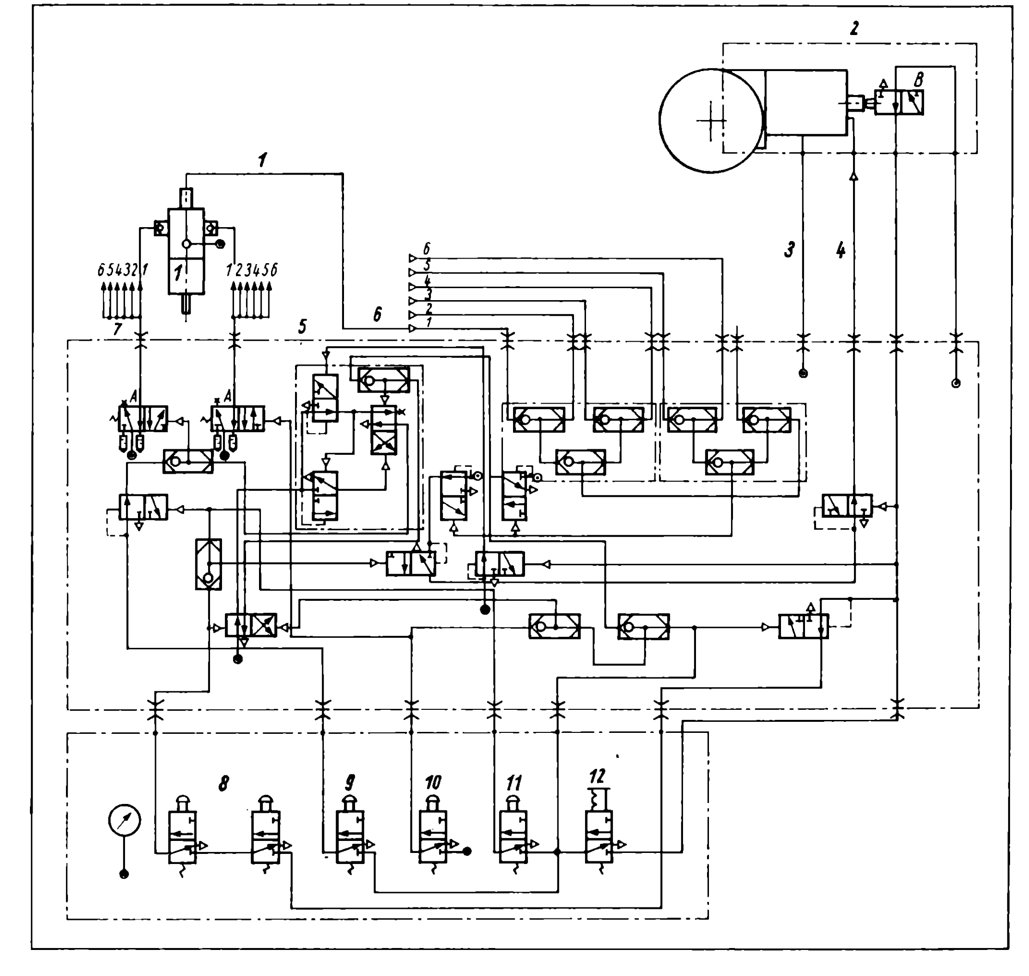


Bild 11. Schaltplan des Steuersystems eines verketteten Kleinmaschinenaggregats mit 6 Antriebseinheiten

1 Bearbeitungseinheiten mit pneumatischem Antrieb; *2* Kreisteiltisch; *3* Druckluftanschluß für den Kreisteiltisch; *4* Steuerungssignal für den Kreisteiltisch; *5* Rücklauf; *6* Rückmeldungen; *7* Start; *8* Zyklusstart; *9* Start der Bearbeitungseinheiten; *10* Rücklauf der Bearbeitungseinheiten; *11* Start des Kreisteiltisches; *12* Automatik-Hand

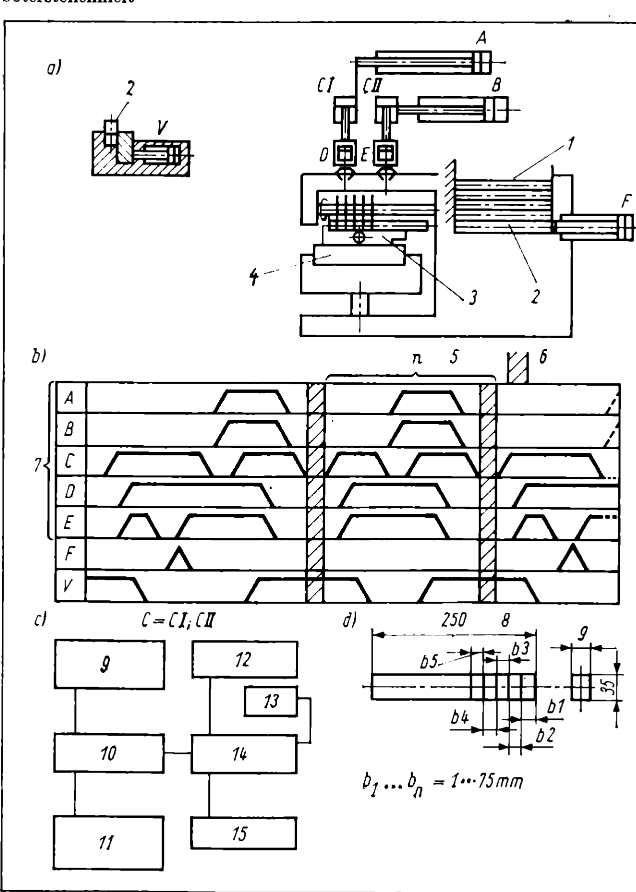


Bild 12. Steuersystem der automatisierten FWD-25-Fräsmaschine mit Halbzeugmagazin und der aus den PR-02-Roboterbaugruppen aufgebauten Handhabe- und Entladungseinrichtung

1 Stangenmagazin; *2* zum Trennfräsen bestimmte Stange; *3* Schraubstockbacken; *4* Tisch; *5* Wiederholung des Arbeitszyklus; *6* Fräsen; *7* PR-02-Roboter; *8* Stangenmaß; *9* Handtaster; Meßrelais der automatisierten Fräsmaschine, Zentralteil; *10* Steuersystem der Fräsmaschine; *11* Stelleinrichtung — Spannen; *12* Handtaster, Meßrelais des Roboters; *13* Programmiereinheit; *14* Steuersystem des Roboters, Zentralteil; *15* Roboterstelleinheit

Betreiber komplettiert werden und das Steuersystem (mit Schaltschrank und Steuerpult von spezialisierten Betrieben unter Anwendung der INTEPNEDYN-Elemente und der im Rahmen dieses Systems vereinheitlichten Schaltschränke und Steuerpulte entworfen und aufgebaut wird.

Grundlagen für das Entwerfen und den Bau eines Steuersystemes für kleine Maschinenaggregate sind:

- Bearbeitungsverfahren, bei dem alle Bearbeitungsmöglichkeiten der in der Maschine eingesetzten Bearbeitungseinheiten berücksichtigt werden (z. B. Durchmesserbereich der herzustellenden Bohrungen und Gewindebohrungen, Werkzeugdrehzahlen, minimale Mittelpunktabstände der Bohrungen, die ohne und unter Anwendung von Mehrspindelbohrköpfen bearbeitet werden, geforderte Genauigkeit, Anzahl der gleichzeitig wirkenden Bearbeitungseinheiten, Anzahl der Bearbeitungsstationen usw.)
- Vom Betreiber gewünschter Arbeitszyklus der Maschine, bei dem die Bewegungsreihenfolge der einzelnen Einheiten und Vorrichtungen sowie die Betriebsart (Automatik, Halbautomatik, Hand) festgelegt sind
- Gegenseitige Verriegelungen und Absicherungen der einzelnen Maschinenfunktionen im Hinblick auf die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz sowie auf die Störanfälligkeit der Bearbeitungseinheiten und die Möglichkeit der Fehlbedienung usw.

Anhand dieser Informationen werden die Konzeption der Bearbeitungsmaschinensteuerung, die Energiezufuhr zu den einzelnen Bearbeitungseinheiten, die Anordnung des Steuerpults und des Schaltschrankes usw. bestimmt. Im folgenden Schritt wird das in den vereinheitlichten Schaltschrank und in das Steuerpult einzubauende Steuersystem entworfen und ausgeführt.

Bei der Entwicklung der einheitlichen INTEPNEDYN-Elemente und Baugruppen für Steuersysteme der Kleinmaschinen-

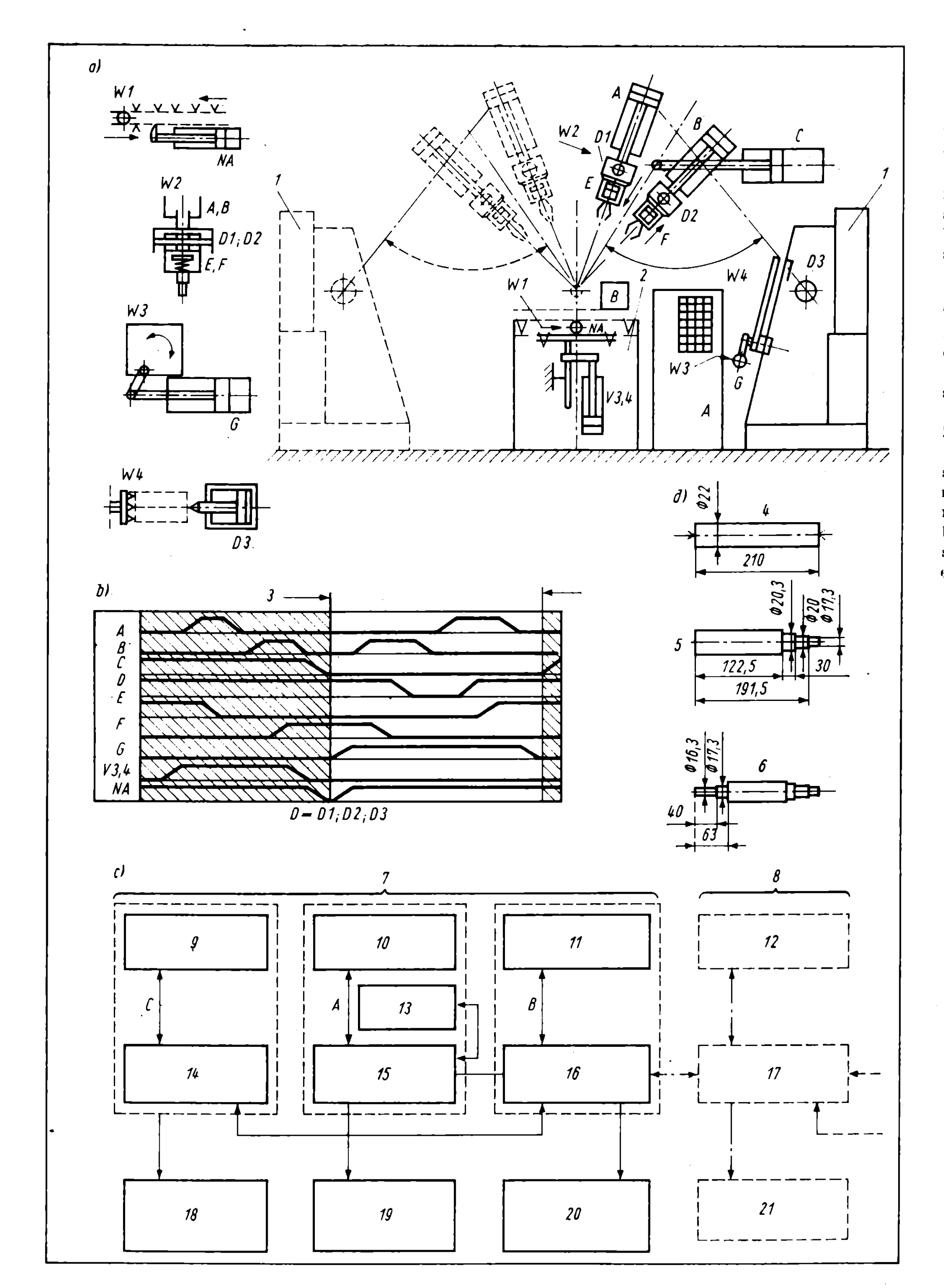


Bild 13. Automatisierte Kopierdrehmaschine TGC-8 mit PR-02-Roboter

1 TGC-8-Kopierdrehmaschine; *2* Zubringer — Rohteilemagazin; *3* Bewegungsablauf beim Kopierdrehen; *4* Ausgangsmaterial; *5* Werkstück nach Bearbeitung auf erster Maschine; *6* Werkstück nach Bearbeitung auf zweiter Maschine; *7* erste Werkzeugmaschine; *8* zweite Werkzeugmaschine; *9* Handtaster, Meßrelais der Kopierdrehmaschine TGC-8; *10* Handtaster, Meßrelais des Roboters; *11* Handtaster, Meßrelais des Zusatzsteuersystems I; *12* Handtaster, Meßrelais des Zusatzsteuersystems II; *13* Programmiereinheit; *14* Drehmaschine-Steuersystem — Zentralteil; *16* Zusatzsteuersystem I — Zentralteil; *17* Zusatzsteuersystem II — Zentralteil; *18* Stelleinrichtung der Drehmaschine — Spannen; *19* Stelleinrichtungen des Roboters; *20* Stelleinrichtungen, Werkstückmagazin, Zubringer I; *21* Stelleinrichtungen, Zubringer II

aggregate wurden verschiedene, häufig vorkommende Steuersysteme betrachtet, und zwar

— vom Gesichtspunkt der Systemausführungstechnik: rein pneumatische und pneumoelektrische Steuersysteme
— vom Standpunkt des Maschinenaufbaus: Steuersysteme, die in Verbindung mit Kreisteiltischen, mit Längsteilvorrichtungen bzw. mit automatischen Werkstückzubringern zusammenwirken
— vom Standpunkt des Automatisierungsgrades: halbautomatische mit der Möglichkeit der Handsteuerung und vollautomatisierte Bearbeitungsprozesse.

Bild 10 zeigt Beispiele von Bearbeitungszyklendiagrammen, für die u. a. die Steuersysteme analysiert und ausgewertet wurden. Der Schaltplan eines Steuersystemes für ein realisiertes Kleinmaschinenaggregat mit sechs Bohr- und Gewindeschneideinheiten und mit pneumatischem Kreisteiltisch ist aus Bild 11 ersichtlich.

2. Steuersysteme für Bearbeitungsstationen bzw. für die mit pneumatisch angetriebenen Robotern Typ PR-02 verketteten Werkzeugmaschinen

Es wurden Steuersysteme für die folgenden, mit PR-02 verketteten Werkzeugmaschinen realisiert

— Waagerechtfräsmaschine FWD-25
— Kopierdrehmaschine TGC-8
— Bearbeitungsstation mit zwei Tischbohrmaschinen WSD-16.

2.1. Mit PR-02-Roboter verkettete Waagerechtfräsmaschine FWD-25

Die oben beschriebene automatisierte Fräsmaschine FWD-25 wurde mit einem Halbzeugmagazin und den aus Baueinheiten des PR-02-Roboters bestehenden Manipulator- und Entladeeinrichtungen verkettet.

In der Skizze nach Bild 12a ist die Maschine mit angebautem Magazin und Roboter gezeigt. Die Antriebseinheit *F* des Gravitationsstangenmagazins schiebt periodisch die zur Bearbeitung bestimmte Stange vor. Die Stange wird in den Backen *E* gespannt, durch den Zylinder *C* II angehoben und durch den Zylinder *B* bis zum Anschlag in den Schraubstockbacken *3* vorgeschoben. In der gleichen Zeit werden die letzten abgefrästen, in dem Backen *D* geklemmten Plättchen durch den Zylinder *C* I angehoben und durch den Zylinder *A* zu der Plättchenentnahmevorrichtung vorgeschoben, wo sie freigegeben werden. Die in die Schraubstockbacken *3* eingeführte Stange *2* wird mit Hilfe des Zylinders *V* gespannt. Nach Festspannen der Stange und Hochfahren beider Backen bewegt sich der Maschinentisch *4* in Richtung der Maschinenspindel mit den Scheibenfräsern, die die Stange in Platten der gewünschten Dicke schneiden.

Die folgenden Arbeitszyklen werden ohne Zufuhr neuer Stangen aus dem Stangenmagazin gefahren, bis die im Schraubstock befindliche Stange vollkommen zerschnitten ist. Der beschriebene Arbeitszyklus wird über das Steuersystem des Roboters PR-02 realisiert, das mit dem auf INTEPNEDYN-Elementen aufgebauten Steuersystem der Fräsmaschine zusammenarbeitet. Über das letzte System werden die automatischen Maschinentischbewegungen in der *X*-Achse sowie die Werkstückspannung und Stangenzuführung aus dem Magazin gesteuert. Das handelsübliche Steuersystem des Roboters PR-02 wurde entsprechend den Forderungen des automatischen Bearbeitungsprozesses so angepaßt, daß es bestimmte Programmschritte in den Momenten überspringt, wenn keine Zubringung der Stange aus dem Stangenmagazin *1* nötig ist.

Ein Arbeitszyklus der automatisierten Fräsmaschine, die mit einem Roboter und dem Halbzeugmagazin verkettet ist, ist aus dem Ablaufdiagramm (Bild 12b) zu ersehen; das Blockschaltbild des Steuersystems zeigt Bild 12c. Bild 12d zeigt das Ausgangsmaterial (Stangen) und die gefrästen Werkstücke, die die Halbzeuge der Endplatten in dem Dickenbereich von 10 bis 75 mm darstellen und aus Stangen von 250 mm Länge hergestellt werden. Während eines Maschinentischdurchganges können 3 bis 5 Platten mit unterschiedlichen Dicken, je nach den Produktionsanforderungen, hergestellt werden. Deshalb wird die den Schraubstockbacken zugeführte Stange mehrmals verschoben, bis das ganze Material abgetrennt ist, und erst dann wird eine neue Stange aus dem Magazin zugeführt.

2.2. *Mit dem PR-02-Roboter verkettete Kopierdrehmaschine TGC-8*

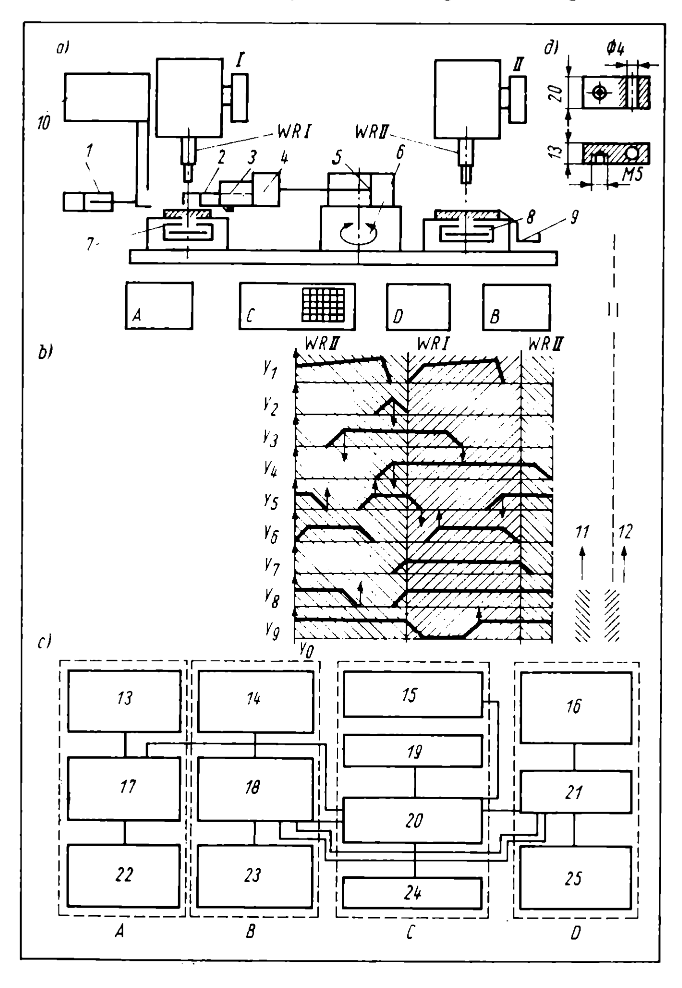
Hier soll die Verkettung der Kopierdrehmaschine TGC-8 mit dem die Werkstücke zuführenden und entnehmenden Roboter vom Typ PR-02 sowie mit einer automatisierten Zuführeinrichtung beschrieben werden. Die Zuführeinrichtung funktioniert gleichzeitig als Roh- und Fertigteilemagazin.

Ein Beispiel der Bearbeitungsstation mit zwei TGC-8-Maschinen zeigt Bild 13a. Zur Automatisierung wurde die handelsübliche Kopierdrehmaschine TGC-8 mit Sonderzuführeinrichtung, die gleichzeitig als Werkstückmagazin 2 arbeitet, mit den aus Baugruppen des PR-02-Roboters bestehenden Manipulationseinheiten AD_1E und BD_2F ausgerüstet. Die zur Bearbeitung bestimmten Rohteile und die fertigen Teile werden auf Magazinprismen abgelegt und im Arbeitszyklus über den Druckluftzylinder NA schrittweise vortransportiert. Das zur Bearbeitung bestimmte Rohteil wird über die Abhebe- und Dreheinheit *V*3, *V*4 vom Magazinprisma abgehoben und um 90° geschwenkt. Die Schwenkung ist wegen der Magazinanordnung entlang der Werkzeugmaschine und wegen der Verkettung von zwei Maschinen in einer automatischen Bearbeitungsstation — was schematisch mit gestrichelten Linien im Bild 13 angedeutet ist — nötig. Von dieser Einheit des Zubringers wird das Werkstück über die Baugruppe AD_1E entnommen, wobei *A* einen Modul der geradlinigen Bewegung und *E* einen Greifer bezeichnet. Die ähnliche Baugruppe BD_2F transportiert das fertige Teil zu dem Zubringer. Die Baugruppe *V*3 legt die fertigen Teile in die Prismen des Magazins ab, das um einen Schritt weiterverschoben wird, wodurch das nächste Rohteil in die Position des Zubringers transportiert wird. In dieser Zeit werden die AD_1E- und BD_2F-Baugruppen über den Zylinder *D* in Richtung der Spindelachse bewegt.

Nach Abschluß des Kopierdrehens wird die Schranke *3* mit Hilfe des Zylinders *G* nach unten bewegt und die BD_2F-Baugruppe greift das in der Maschine gespannte fertigbearbeitete Werkstück. Nach Rückfahren des hydraulischen Reitstockes D_3 wird das Werkstück entspannt und über den Modul D_2 von der Mitnehmerspitze heruntergeschoben. Nach Rückbewegung des Moduls *B* wird das neue Rohteil über die AD_1E-Baugruppe in Richtung der Spindelachse vortransportiert, über die Baugruppe D_1 auf die Mitnehmerspitze aufgeschoben und mit Hilfe des

Bild 14. Bearbeitungsstation mit zwei automatisierten WSD-16-Bohrmaschinen, die vom PR-02-Roboter bedient werden

WR I, *WR* II WSD-16-Bohrmaschinen; *1* Druckluftzylinder; *2* Greiferbacken; *3* Modul der Lokalbewegung; *4* Quermodul des Roboters; *5* Längsmodul des Roboters; *6* Modul der Grunddrehbewegung; *7* Spannvorrichtung 1; *8* Spannvorrichtung 2; *9* Entnahmevorrichtung; *10* Vibrationsförderer; *A* und *B* Steuersysteme der automatisierten Bohrmaschinen; *C* Steuersystem des PR-02-Roboters; *D* elektropneumatisches Zusatzsystem; Y_1 Spindelzustellung WR; Y_2 Eingabeeinrichtung; Y_3 Spannen in die Greiferbacken des Roboters; Y_4 Backendrehung um 90°; Y_5 Heben der Greiferbacken; Y_6 Greiferarmbewegung nach vorn; Y_7 Greiferarmdrehung um 180°; Y_8 Werkstückspannen in der Bohrmaschine 1; Y_9 Werkstückspannen in der Bohrmaschine 2; Y_0 Ausgangsposition; *11* Funktionen, die in der Maschinenzeit der 1. Maschine erfolgen; *12* Funktionen, die in der Maschinenzeit der 2. Maschine erfolgen; *13* Handtaster, Meßrelais der 1. Maschine; *14* Handtaster, Meßrelais der 2. Maschine; *15* Handtaster, Meßrelais des Roboters; *16* Handtaster, Meßrelais des Zusatzsteuersystems (Stop, Zubringer usw.); *17* Steuersystem-Zentralteil für die 1. Maschine; *18* Steuersystem-Zentralteil für die 2. Maschine; *19* Programmiereinheit für Roboter; *20* Steuersystem des Roboters — Zentralteil; *21* Zusatzsteuersystem — Zentralteil; *22* Stelleinrichtung der 1. Maschine — Spannen; *23* Stelleinrichtung der 2. Maschine — Spannen; *24* Stelleinrichtung des Roboters; *25* Stelleinrichtung — Werkstückeingabeeinrichtung



Reitstockes D_3 gespannt. Danach wird die Schranke *3* über die Baugruppe *G* nach oben bewegt und es wird der automatische Maschinenzyklus realisiert. Die AD_1E- und BD_2F-Baugruppen werden in dieser Zeit mit Hilfe des Zylinders *C* im Bereich des Magazins bewegt.

Der vorgestellte Bearbeitungsablauf wird über das Steuersystem der einfachen Roboter PR-02 in Verbindung mit einem elektropneumatischen, aus INTEPNEDYN-Elementen bestehenden Zusatzsteuersystem verwirklicht. Das Zusatzsteuersystem steuert die Magazinbewegungen und verkettet in dem Bearbeitungszyklus die Steuerung des Roboters, des Magazins und der Maschine. Es enthält Handtaster zur Handsteuerung und Meßrelais für Einstellung der Magazin- und Zubringerbaugruppen. Das Kopierdrehmaschinen-Steuersystem ist über die Signale „Zyklusstart", „Prüfung der Zyklusausführung", „Ausgangsposition der Maschinenbaugruppen" usw. mit der Steuerung des Roboters gekoppelt. Die Ablaufdiagramme der Automatisierungseinrichtungen zeigt Bild 13b, während die gegenseitige Verkettung der Steuersysteme aus dem Blockschaltbild (Bild 13c) ersichtlich ist.

Das beschriebene Steuersystem schafft die Möglichkeit, zwei Werkzeugmaschinen zu einer mit gleichem Werkzeugmagazin zusammenwirkenden Bearbeitungsstation zu verbinden. In diesem Fall werden zwei der beschriebenen Steuersysteme eingesetzt, und die Zusatzsteuersysteme werden über die Koppelsignale verkettet. Die Werkstücke in dem Magazin werden erst dann weiter transportiert, wenn beide Maschinen ihre Arbeitszyklen ausgeführt haben und die Fertigteile in die Magazinprismen abgelegt worden sind. Die vorgestellte Station ist für die Bearbeitung von zylindrischen Werkstücken ∅ 10 ... 34 mm und 140 ... 550 mm Länge vorgesehen. Beispiele der auf der Bearbeitungsstation hergestellten Motorwellen zeigt Bild 13d.

2.3. *Bearbeitungsstation aus zwei automatisierten, mit PR-02-Roboter verketteten WSD-16-Bohrmaschinen*

Diese Bearbeitungsstation besteht aus zwei Bohrmaschinen vom Typ WSD-16, die im Arbeitszyklus über einen PR-02-Roboter verkettet sind, und aus einem Vibrationsförderer mit pneumatischer Teileausgabeeinheit, die die Rohteile zum Bohren auf die erste Bohrmaschine übergibt. Das auf der ersten Maschine gebohrte Werkstück wird vom Roboter abgehoben und in die Spannvorrichtung der zweiten Bohrmaschine abgelegt.

Bild 14a zeigt eine solche Bearbeitungsstation. Der Zylinder *1* dient zur Übergabe der Rohteile aus dem Vibrationsförderer *10* in die Backen der Spannvorrichtung *7* der ersten Maschine *WR* I. Nach dem Bohren wird das Werkstück durch die Greiferbacken *2* des PR-02-Roboters gefaßt und durch die Bewegung des Quermoduls *4* und des Längsmoduls *5* aus der Arbeitszone der ersten Maschine wegtransportiert.

Da auf der zweiten Bohrmaschine *WR* II Gewindebohrungen zu schneiden sind, deren Achsen senkrecht zu der auf der ersten Bohrmaschine hergestellten Bohrung verlaufen, wird das Werkstück durch den sog. Lokalbewegungsmodul *3* um 90° geschwenkt und dann mit Hilfe des sog. Grunddrehbewegungsmoduls *6* und der Module *4* und *5* in die Backen der Spannvorrichtung *8* abgelegt.

Während der Übergabe des Werkstückes von der ersten Maschine in die Backen der Spannvorrichtung *8* wird das Fertigteil von der zweiten Maschine abgehoben und in die Entnahmeeinrichtung *9* abgeworfen.

Nach Übergabe des Werkstückes in die Backen der Spannvorrichtung *8* kehrt der Roboterarm zurück, um das nächste Werkstück aus der ersten Maschine zu entnehmen, und der Zyklus wird wiederholt. Dieser Zyklus wird über das Steuersystem *C* des PR-02-Roboters realisiert. Das Robotersteuersystem funktioniert in Verbindung mit den aus INTEPNEDYN-Elementen bestehenden pneumatischen Maschinensteuersystemen *A* und *B*, die auch die Bewegungen der Spannzylinder *7* und *8* steuern. Ein zusätzliches Steuersystem *D* steuert in Verbindung mit den Steuersystemen *A*, *B* und *C* die Bewegungen des Zylinders *1* zur Rohteilübergabe.

Der automatische Arbeitszyklus des Roboters in Verbindung mit den Bewegungen der Zuführeinheit, der Spannvorrichtungen und der automatisierten Bohrmaschinen ist aus den Ablaufdiagrammen im Bild 14b zu ersehen. Bild 14c zeigt das Blockschaltbild der verketteten Steuersysteme und Bild 14d zeigt ein Beispiel des auf den Maschinen hergestellten Fertigteiles.

3. Beispiele anderer Anlagen mit Steuersystemen aus INTEPNEDYN-Elementen

Folgende Anlagen werden beschrieben:

- Halbautomatische Montagelinie für Vergaser des PKW „Fiat 126p"
- Automatische Linie für das Scharfschleifen von Gewindeschneideisen
- Anlage für die Fernsteuerung von Weichen bei der Zugförderung in methangefährdeten Bergwerken.

3.1. *Halbautomatische Montagelinie für Vergaser des PKW „Fiat 126p"*

Die Montagelinie besteht aus 10 Montage-, Montagemeß- und Meßstationen, die längs eines Förderbandes angeordnet sind. Nach manueller Einführung des Vergaserkörpers in die entsprechende Vorrichtung wird der automatische Ablauf der jeweiligen Montageoperation, z. B. Festspannen, und je nach der Station Abdichten der entsprechenden Bohrungen, Montage der Elemente in der festgelegten Reihenfolge, Messen, Entspannen des Vergasers o. ä. von dem Bedienungsmann ausgelöst.

Danach wird der Vergaserkörper von Hand auf das Förderband gelegt. Durch eine entsprechende Aufteilung des Montageprozesses in einzelne Arbeitsgänge und durch eine hohe Anzahl einstellbarer Zeitglieder im Steuerprozeß wurde eine entsprechende Montageleistung der Linie erreicht.

Ein Beispiel des Steuersystems mit den Ablaufdiagrammen einer Station zeigt Bild 15, die Ansicht der Montagelinie ist im Bild 16 dargestellt.

3.2. *Automatische Linie für das Scharfschleifen von Gewindeschneideisen*

Diese Linie ist für das Scharfschleifen von Gewindeschneideisen M 3 ... M 11 bestimmt. Es werden die Freifläche, die zylindrische Spanfläche und die schräge Spanfläche der Gewindeschneideisen geschliffen.

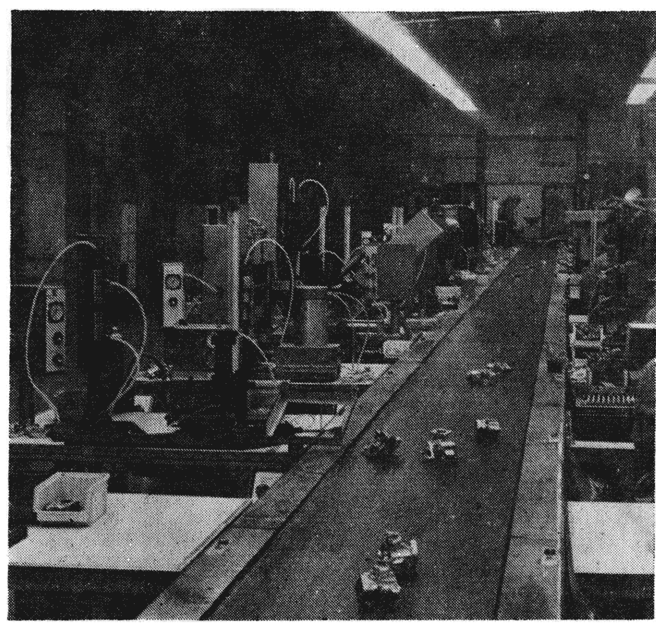
Die Schleiflinie besteht aus 5 Schleifautomaten: einem Automaten zum Schleifen der zylindrischen Spanflächen, zwei Automaten zum Schleifen der schrägen Spanflächen und zwei zum Schleifen der Freiflächen. Die Gewindeschneideisen werden über eine Kombination der Zubringeeinheiten und Rinnen vom Rohteilmagazin über Spannvorrichtungen zum Fertigteilmagazin automatisch transportiert und entsprechend gespannt. Die Arbeit der einzelnen Einheiten wird über einen Satz von berührungslosen Fühlern synchronisiert.

Die automatische Steuerung, die mit Hilfe eines elektropneumatischen Steuersystems mit INTEPNEDYN-Elementen realisiert wird, ermöglicht die Arbeit der Linie im Einzelzyklus und im Dauerbetrieb. Jeder Automat kann auch handgesteuert werden. Durch Einsatz von Borazan-Schleifstiften mit galvanischem Bindemittel wurde die Notwendigkeit der häufigen Kontrolle der Werkzeugabmessungen und des Werkzeugaustausches vermieden. Pneumatische Schnellfrequenz-Schleifspindeln garantieren hohe Qualität der geschliffenen Schneiden und hohe Schleifleistung.

Bild 15. Steuersystem einer Montagelinie

a) pneumatischer Schaltplan (logisches Schema) einer Station der Montagelinie; b) Ablaufdiagramm dieser Station;
1 Spannzylinder; *2* Buchseneinpreßzylinder; *3* Schraubendreher; *4* Zylinder des Schraubendrehers; *5* Eichungszylinder; *6* Schaltschrank; *7* Druckluftanschluß; *8* Stop, *9* Anzeigegerät; *10* Start der Montage; *11* Steuerpult, links; *12* Start der Montage; *13* Montage- zurück; *14* Stop; *15* NOT-zurück; *15* Steuerpult, rechts; *17* Start; *18* einstellbare Zeitverzögerung

Bild 16. Montagelinie für Vergaser des PKW „Fiat 126p" ▼



Im Bild 17 ist die Ansicht der Schleiflinie zu sehen, und einen der Schaltschränke mit dem Steuersystem zeigt Bild 18.

3.3. *Pneumatische Weichen-Fernsteuerung bei der Zugförderung in methangefährdeten Bergwerken*

Das Steuersystem wurde für die Weichenfernsteuerung der Einrichtungs- bzw. Dreirichtungs-Zugförderung in Bergwerken entwickelt. Eine vereinfachte Darstellung des Steuersystems zeigt Bild 19.

Die Weichen werden vom Lokomotivführer während der Fahrt des Zuges mit dem Fördergut entsprechend der gewünschten Stellung ferngesteuert. Die Steuerung erfolgt mit Hilfe der Impulsgeber *1* oder *1'* bzw. *2* oder *2'*, wenn diese durch Pantographen oder Hebel kurzzeitig ausgeschwenkt werden. Das vom Impulsgeber erzeugte Signal wirkt nach Verstärkung im Steuersystem *3* auf einen Druckluftzylinder *4*, der die Weiche in die gewünschte Position stellt.

Die nötigen Umsteuerungssignale können auch von Hand über die pneumatischen Schalter *A* und *B* gegeben werden. In diesem System besteht die Möglichkeit, die Dauer des pneumatischen

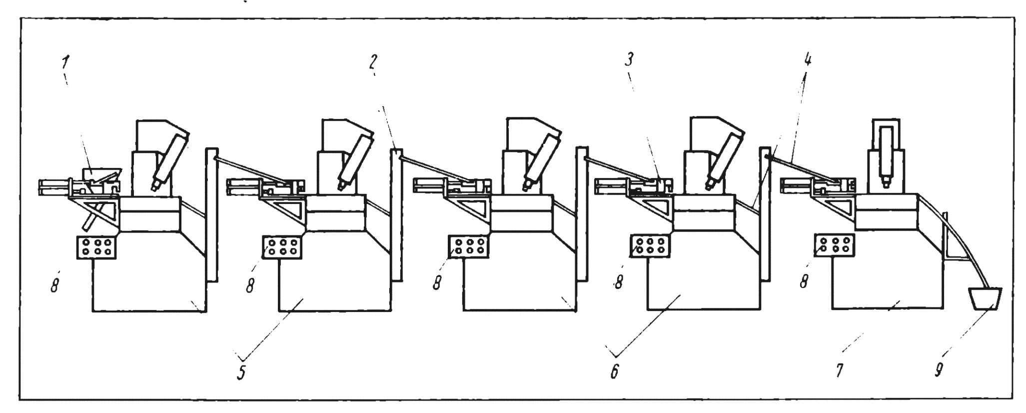


Bild 17. Automatische Linie für das Scharfschleifen von Gewindeschneideisen

1 Aufgabetrichter; *2* Hebeeinrichtung; *3* Orientierungseingabeeinrichtung; *4* Verbindungsrinnen; *5* Schleifmaschinen zum Anschnittschleifen; *6* Schleifmaschinen zum Schleifen der schrägen Spanfläche; *7* Schleifmaschine zum Schleifen der Zahnlücken; *8* Steuersysteme; *9* Rutsche für fertige Gewindeschneideisen

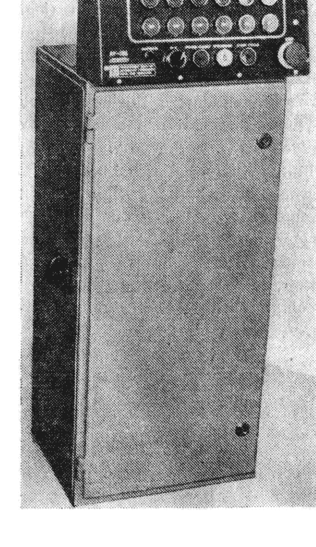


Bild 18. Einer der Steuerschränke für die Linie zum Schleifen von Gewindeschneideisen ▶

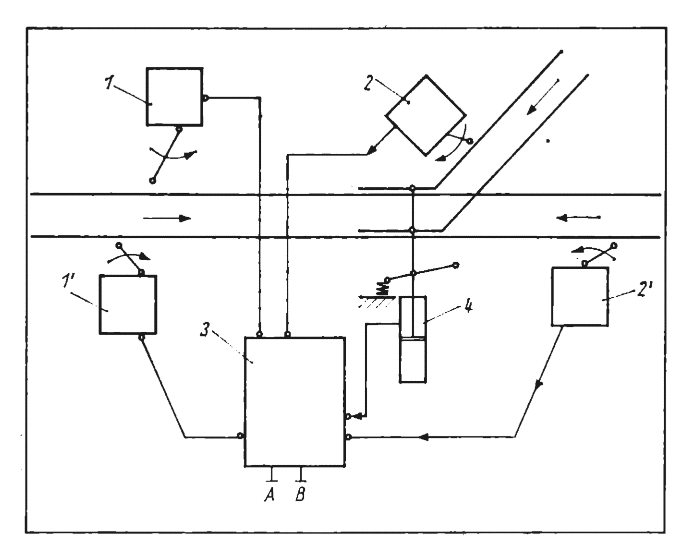


Bild 19. Blockschaltbild des Weichensteuersystems für die Zugförderung in Bergwerken

1/1' Impulsgeber; *2/2'* Impulsgeber; *3* Steuersystem; *4* Druckluftzylinder zur Weichenumstellung

Ausgangssignales aus dem Steuersystem entsprechend den Bedingungen im Bereich der Weichen einzustellen.

4. Anwendung unifizierter pneumatischer und elektropneumatischer Steuereinheiten

Dis bisher angegebenen praktischen Beispiele zeigen, daß die pneumatischen und elektropneumatischen Elemente und Einrichtungen des INTEPNEDYN-Systems für den Aufbau verhältnismäßig einfacher Steuerungssysteme gut geeignet sind. In bezug auf das Hauptanwendungsgebiet wird außerdem die Auffassung bestätigt, daß insbesondere die Automatisierung von einfachen Werkzeugmaschinen bei Erfüllung der am Anfang des Beitrages angeführten Forderungen günstig durchführbar ist. Dabei werden bei kleinem Aufwand folgende vorteilhafte Effekte erreicht:

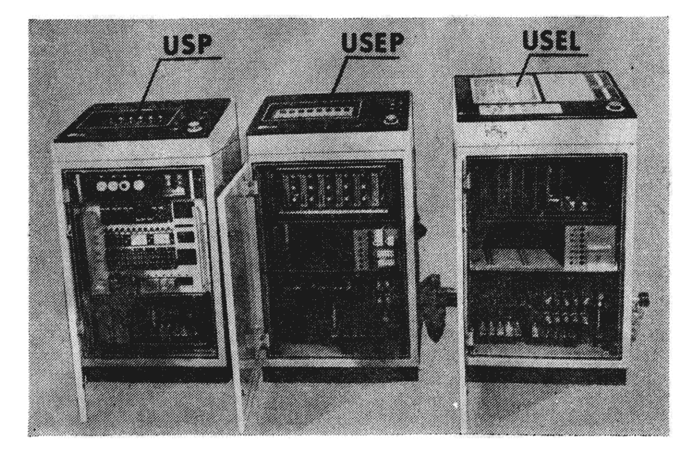
- Leistungssteigerung der automatisierten Werkzeugmaschinen, hauptsächlich auf dem Wege des Überbrückens der Nebenzeiten durch die Fertigungszeiten und durch deren maximale Verkürzung
- Möglichkeit der Kombination von mehreren Maschinen in einer Bearbeitungsstation, die von einer Person oder von einem Roboter bedient wird
- Verkleinerung der körperlichen Anstrengung des Bedienungspersonals, dessen Tätigkeit auf Kontrollfunktion, Werkzeugaustausch und Materialnachlieferung begrenzt werden, bei gleichzeitiger Erhöhung der Arbeitssicherheitsbedingungen durch Ausscheiden der Handhabung in dem Maschinenarbeitsbereich
- Verlängerung der Werkzeugstandzeit durch Erzwingen der richtigen Zerspanungsbedingungen im automatischen Bearbeitungszyklus
- Verbesserung der Bearbeitungsgenauigkeit durch Ausschließung der Fehler, die durch Handbedienung verursacht werden können.

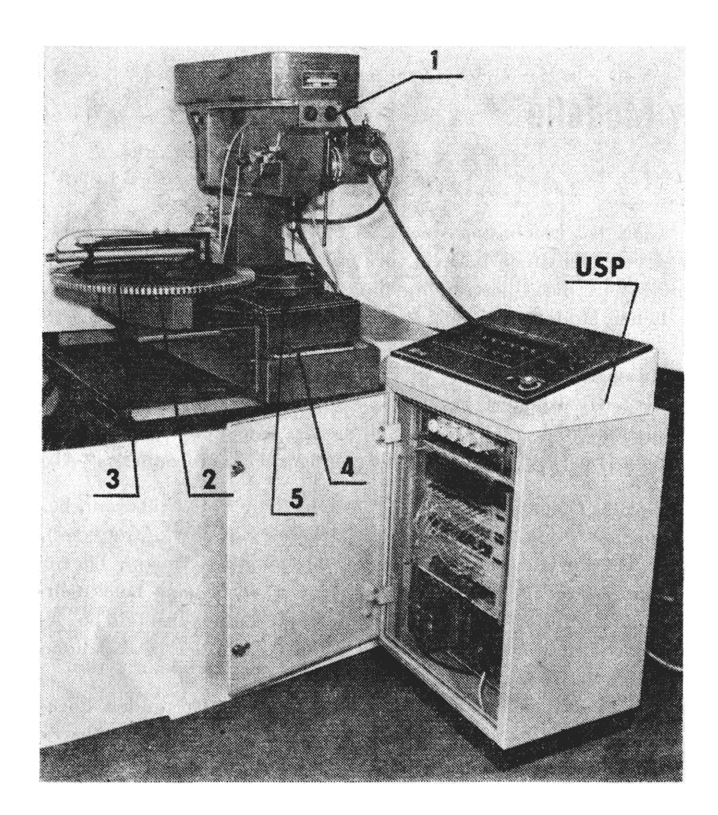
Bei der Einführung der Maschinenautomatisierung müssen jedoch weitere Probleme gesehen werden:

- Entsprechende Auswahl der zur Automatisierung bestimmten Werkzeugmaschinen. Nicht alle Maschinen lassen sich entweder wegen des Platzmangels für den Einbau der Automatisierungsbaugruppen oder wegen ungenügender Positionierungsgenauigkeit der einzelnen Maschinenbaugruppen (zu geringe Steifigkeit) automatisieren.
- Richtige Auswahl des Automatisierungsherstellers. Die Werkzeugmaschinenautomatisierung, die von verschiedenen Maschinenbetreibern durchgeführt wird, ist sehr kostenaufwendig, wobei die erzielten technischen Resultate nicht immer zufriedenstellend sind. Zweckmäßiger ist es, wenn die Automatisierung durch den Maschinenhersteller oder durch entsprechend spezialisierte Reparaturwerkstätten durchgeführt

Bild 20. Unifizierte Steuereinheiten

USP pneumatische Steuereinheit; USEP elektropneumatische Steuereinheit; USEL Steuereinheit mit elektronischem Zentralteil





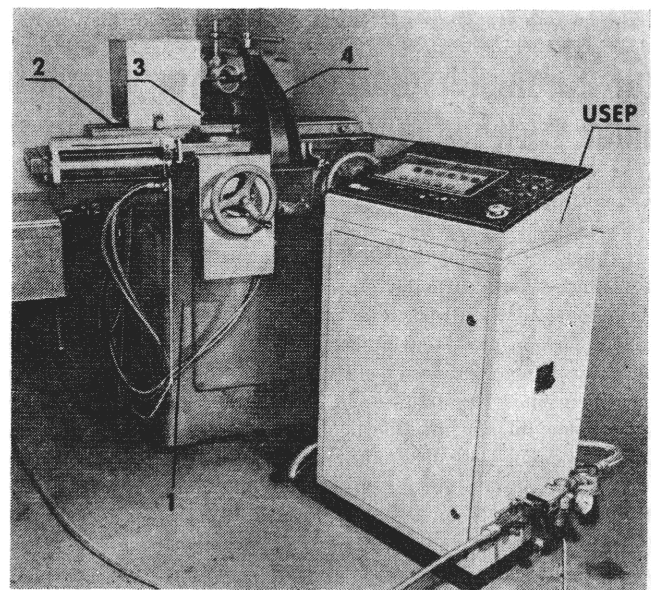


Bild 21. (links) WSD-16—Bohrmaschinensteuerung mit USP-Steuereinheit

1 Bohrmaschine; *2* Teilemagazin; *3* pneumatischer Zubringer; *4* pneumatischer Zweistellungstisch; *5* Spannvorrichtung

Bild 22. (rechts) NUA-25-Schleifmaschinensteuerung mit USEP-Steuereinheit

1 Schleifmaschine NUA-25; *2* pneumatischer Teilapparat; *3* Fräser bzw. Reibahle; *4* Gegenhalter

wird. In dem letzten Fall kann die Maschinenautomatisierung auf Kundenwunsch mit der Generalüberholung der Maschine verbunden werden.

Anhand der vorgestellten Übersicht über Anwendungsfälle von pneumatischen Elementen des INTEPNEDYN-Steuersystems können Zweifel entstehen, ob im Hinblick auf die dynamische Entwicklung der Elektronik die Anwendung dieses Systems für Maschinen- und Anlagenautomatisierung berechtigt ist.

Die Verfasser sind jedoch der Meinung, daß dieses Steuersystem insbesondere dort erfolgreich Anwendung finden kann, wo pneumatische Stellglieder, wie Druckluftzylinder und pneumatische bzw. pneumoelektrische Motoren, vorkommen. Das gilt natürlich auch für elektropneumatische bzw. gemischte Steuersysteme, in denen Druckluftzylinder und -motore über INTEPNEDYN-Elemente angesteuert werden, wobei der zentrale Teil der Steuerung sowie der Informationseingabeteil mit elektrischen bzw. elektronischen Mitteln aufgebaut wird. Die industrielle Anwendung des INTEPNEDYN-Steuersystems wird außerdem unterstützt durch vereinfachte Entwurfsverfahren und durch weitgehende Vereinheitlichung bzw. Standardisierung der Baugruppen, wie Speicherblöcke, unifizierte Baugruppen für Steuerpulte, standardisierte Schaltschränke, Schalttafeln usw. Neue pneumatische Steuereinheiten vom Typ „USP“ sind entwickelt worden, die nicht für bestimmte Maschinensteuersysteme, sondern als unifizierte Einheiten hergestellt werden (die Projektierung von Steuersystemen unter Anwendung der USP-Steuereinheiten ist in [1] dargestellt). Ähnlich wie die USP- Steuereinheiten sind die im Bild 20 gezeigten elektropneumatischen Steuereinheiten vom Typ USEP von MERA-PIAP aufgebaut, deren Zentralteil auf elektrischen Kleinrelais basiert. Das gleiche Bild zeigt auch eine Steuereinheit vom Typ USEL, deren Zentralteil elektronische Glieder enthält.

Im Bild 21 ist eine rein pneumatische Steuereinheit vom Typ USP zu sehen, die zur Steuerung einer automatisierten Tischbohrmaschine Typ WSD-16 eingesetzt wurde. Die automatisierte Maschine ist mit einem drehbaren Magazin *2*, einem pneumatischen Teilezubringer *3* und einem pneumatischen Zweipositionentisch mit Spanneinrichtung *5* ausgerüstet.

Bild 22 zeigt eine Anwendung der pneumoelektrischen Steuereinheit USEP zur Steuerung der bereits erwähnten automatisierten NUA-25-Schleifmaschine *1* mit einem pneumatischen Sonderteilapparat *2*, die das Schleifen von allen geradlinigen und schraubenförmigen Freiflächen der mit einer Spitze *4* abgestützten Reibahlen bzw. Fräser im automatischen Bearbeitungszyklus ermöglicht.

Bei beiden erwähnten Beispielen arbeitet die Steuereinheit schrittweise, wobei die Schrittzahl kleiner als 16 ist, und die Anzahl der Systemein- und -ausgänge insgesamt etwa 30 beträgt. Bei gewünschter kleiner Anzahl der Arbeitsschritte und größerer Anzahl der Systemein- und -ausgänge ist es zweckmäßig, die auch bei MERA-PIAP entwickelten elektropneumatischen Folgesteuereinheiten Typ USE1 (Bild 20), die mit elektronischem Zentralteil und Diodenmatrix für Zyklusprogrammierung ausgerüstet sind, zu verwenden. Diese Steuereinheiten ermöglichen, 32 Programmschritte auszuführen und haben insgesamt 64 Systemein- und -ausgänge.

Für kompliziertere elektropneumatische Steuersysteme wird die Anwendung von Steuereinheiten empfohlen, die mit einem INTELSTER PC COMPAKT-Zentralteil (PILZ-Lizenz) ausgerüstet sind. Die Programmierung dieser Steuereinheiten beruht auf der Eingabe der aufeinanderfolgenden festen Befehle in den Speicher, die den aufeinanderfolgenden Programmschritten entsprechen. Durch die Modulbauweise des Zentralteiles ist es möglich, diese Steuereinheiten auf 32 bis 96 Systemeingänge und 24 bis 27 Systemausgänge zu erweitern. Die Kapazität des Dauerspeichers beträgt bei diesen Steuereinheiten 256 bis 1024 16-bit-Wörter.

Literatur

[1] *Stawiarski, D.:* Entwurf pneumatischer Steuersysteme für automatisierte Werkzeugmaschinen und verfahrenstechnische Anlagen unter Anwendung der Steuerelemente und Funktionseinheiten des INTEPNEDYN-Systems. msr, Berlin 26 (1983) 12, S. 668–672

msr 7869

Doz. Dr.-Ing. *H. Buchta*, Dresden[1])

Zur Parameterschätzung linearer dynamischer Modelle unter Verwendung periodischer Testsignale

IA 2.6.1.

0. Einleitung

In Abhängigkeit von den technologischen Gegebenheiten bzw. den eingesetzten Automatisierungsmitteln kann die Steuerung eines kontinuierlich wirkenden, dynamischen Systems entweder kontinuierlich, quasikontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen. Zur Dimensionierung einer gewählten Steuerstruktur, im speziellen einer Regelung, ist i. allg. zumindest ein kontinuierliches oder ein diskontinuierliches Modell erforderlich, das das entsprechende Eingangs-/Ausgangsverhalten des Systems im statistischen Sinne mit einer bestimmten Genauigkeit approximiert. In vielen technisch relevanten Fällen ist es möglich, das kontinuierliche System durch ein einvariables lineares zeitinvariantes Modell mit konzentrierten Parametern zu beschreiben. Ist die Struktur des kontinuierlichen Modells a priori bekannt, ist ein Parameterschätzproblem zu lösen; ein diskontinuierliches Modell kann berechnet werden.
Beim heutigen Stand der Technik wird die Parameterschätzung in der Regel on-line mit Hilfe eines Klein- oder Mikroprozeßrechners aus äquidistant abgetasteten Eingangs- und Ausgangssignalen $u(t)$, $y(t)$ des Systems durchgeführt. Deshalb bieten sich zur Bestimmung des kontinuierlichen oder des diskontinuierlichen Übertragungsverhaltens des kontinuierlichen Systems diskontinuierliche Basismodelle (hier diskrete Übertragungsfunktion; Differenzengleichung) an.
Die Parameterschätzung dieser Basismodelle aus experimentellen Daten sowie die Rückrechnung der Basismodelle — bei bekannter Struktur des kontinuierlichen Modells mit o. g. Eigenschaften — auf kontinuierliche oder diskontinuierliche Modelle für den Entwurf einer Steuerung ist nicht problemlos. Ausgehend von Ergebnissen der Theorie einvariabler, linearer diskontinuierlicher Systeme [1] bis [3] lassen sich folgende Aussagen, die in ihrer Komplexität bei der Lösung der Identifikationsaufgabe zu beachten sind, abheben:

1. Die Anzahl der Parameter des diskontinuierlichen Basismodells ist nicht notwendig gleich der Anzahl der Parameter des kontinuierlichen Modells.
   Unterschiede entstehen in Abhängigkeit von der gewählten Darstellungsform des kontinuierlichen Modells (z. B. Zeitkonstanten- oder Partialbruchmodell für die Übertragungsfunktion bzw. Differentialgleichungs- oder Zustandsgleichungsmodell in kanonischer Normalform) sowie durch Abtastung hervorgerufene Effekte (Ordnungsreduktion des Basismodells).
2. Einer Ordnung m der Differentialgleichung des kontinuierlichen Modells entspricht die Ordnung m^* der Differenzengleichung des Basismodells, wobei i. allg. $m^* = m$. Für bestimmte Werte ϑ_ν; $\nu = 1, 2, \ldots$; der Abtastperiode Δt kann $m^* < m$ sein (Ordnungsreduktion z. B. bei Auftreten konjugiert komplexer Polpaare p_i, $\bar{p}_i$ in der Übertragungsfunktion des kontinuierlichen Modells [2], wenn $|\mathrm{Im}\,\{p_i\}| = \nu\pi/\Delta t$ gilt); bei Identifikationsproblemen tritt dieser Fall mit der Wahrscheinlichkeit Null ein. Ist dennoch $\Delta t = \vartheta_\nu$ und ist das Basismodell identifizierbar, so ist das Identifikationsproblem bezüglich der Ordnung m im statistischen Mittel singulär, aber bezüglich der Ordnung m^* regulär. Für $\Delta t \approx \vartheta_\nu$ ist $m^* = m$, und das Basismodell kann schlecht identifizierbar sein (Konditionsprobleme).
3. Eine Rückrechnung der Basismodelle im o. g. Sinne setzt deren Identifizierbarkeit voraus.
   Enthält die Übertragungsfunktion des stabilen kontinuierlichen Modells lediglich reellwertige Pole, so ist die Rückrechnung eindeutig; es gilt $m^* = m$ (vgl. hierzu und zu folgenden Aussagen [4]).
   Treten konjugiert komplexe Polpaare auf, so ist die Rückrechnung i. allg. nicht eindeutig möglich. Ist jedoch $\max_i |\mathrm{Im}\,\{p_i\}| < \pi/\Delta t$ erfüllt (genügend „hochfrequente" Abtastung; diese Bedingung entspricht dem Abtasttheorem, bezogen auf das Polpaar mit der höchsten Einschwingfrequenz), so ist die Rückrechnung eindeutig; es gilt $m^* = m$. Ist für mindestens ein Polpaar $|\mathrm{Im}\,\{p_i\}| \geqq \pi/\Delta t$, ist eine Rückrechnung nicht eindeutig möglich, wenn keine zusätzliche A-priori-Information über die ungefähre Lage der betreffenden p_i beschaffbar ist; es gilt $m^* \leqq m$.
4. Die bei der verwendeten Schätzstrategie auftretenden Parameterfehler des Basismodells bilden sich in den Parametern der rückgerechneten Modelle i. allg. über eine nichtlineare Transformation ab.
5. Wird aktiv oder passiv experimentiert und wirkt dabei ein beliebig strukturiertes kontinuierliches Signal $u(t)$, das die Identifizierbarkeit des diskontinuierlichen Basismodells sichert, auf das kontinuierliche System ein, so sind die rückgerechneten Modelle von der Struktur und den Parametern von $u(t)$ sowie von der zur Identifikation verwendeten Abtasteinrichtung (Abtastperiode, Formierglied) abhängig. Dieser Einfluß entsteht durch eine Signalapproximation von $u(t)$ (z. B. Treppenfunktion [1]) und existiert unabhängig von den o. g. Erscheinungen.
6. Wird aktiv oder passiv experimentiert und wirkt dabei ein kontinuierliches Signal $u(t)$, das in Intervallen $\Delta t_i = r_i \Delta t$; $i = 1, 2, \ldots$; $r_i \in \{1, 2, \ldots\}$; bestimmte Stetigkeitseigenschaften hat und die Identifizierbarkeit des diskontinuierlichen Basismodells sichert, auf das kontinuierliche System ein, so treten die in 5. genannten Abhängigkeiten nicht auf. Diese Aussage gilt auch, wenn $u(t)$ einer Einrichtung entstammt, die einen Abtaster und ein beliebig strukturiertes Formierglied enthält, trifft also insbesondere für eine prozeßrechnergesteuerte aktive Experimentation zu.

Die weiteren Betrachtungen gelten der Parameterschätzung mittels aktiver Experimentation (vgl. 6.) bei Verwendung periodischer Testsignale.

1. Voraussetzungen und Vorbetrachtungen

Das Übertragungsverhalten eines kontinuierlich wirkenden, dynamischen Systems lasse sich durch das stabile, einvariable lineare zeitinvariante Modell mit der echt gebrochen rationalen Übertragungsfunktion $\hat{G}(p) = G(p, \hat{\boldsymbol{a}})$ (wahres Modell mit der Ordnung m) darstellen; $\hat{\boldsymbol{a}}$ bezeichnet den zu identifizierenden Modellparametervektor. Das Systemverhalten ist also nicht sprungfähig und enthält keine Totzeit (zur Behandlung auftretender Totzeiten vgl. z. B. [5]).
Die Experimentation erfolgt aktiv und prozeßrechnergesteuert. Das periodische Eingangssignal $u(t)$ des Systems entstehe dabei durch ein lineares Modulationsverfahren aus einer generierten periodischen Wertefolge $\{u_0[n]\}$. Das direkt meßbare Ausgangssignal $y(t)$ enthält die Systemantwort $y^0(t)$ auf $u(t)$ und additiv

[1]) Mitteilung aus der TU Dresden, Sektion Informationstechnik, WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerung.

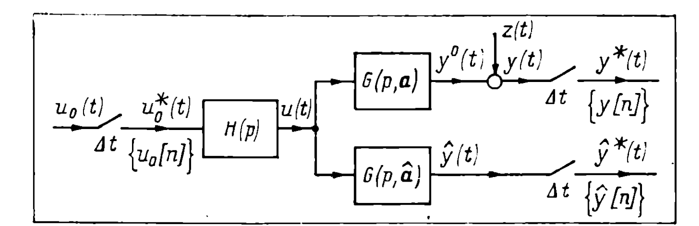


Bild. System- und Modellkonfiguration bei aktiver, prozeßrechnergesteuerter Experimentation

$H(p)$ — Übertragungsfunktion des Formiergliedes, z. B. Halteglied nullter Ordnung.

ein Störsignal $z(t)$, also

$$y(t) = y^0(t) + z(t) , \tag{1}$$

wobei $z(t)$ eine Realisierung eines stationären, ergodischen Zufallsprozesses $Z(t)$ mit dem Mittelwert

$$M[Z(t)] = 0 \tag{2}$$

und der unbekannten Autokorrelationsfunktion $R_z(\tau)$ ist [6].
Die in Takten Δt zur Verfügung stehende periodische Wertefolge $\{u_0[n]\}$ und die mit der Abtastperiode Δt aus $y(t)$ erhaltene Wertefolge $\{y[n]\}$ liefern das Datenmaterial zur Parameterschätzung des diskontinuierlichen Basismodells mit der diskreten Übertragungsfunktion $F^*(z, \hat{\alpha})$. Die Zusammenhänge zeigt das Bild; $F^*(z, \hat{\alpha})$ ist durch $\mathfrak{Z}$-Transformation von $H(p) \cdot G(p, \hat{a})$ bestimmt [1] und [3].
Unter den genannten Voraussetzungen gilt für das Basismodell — dessen Ordnung m^* sei $m^* = m$ und ist bekannt; siehe Einleitung, Punkt 2. — die Differenzengleichung

$$\hat{y}[n + m] + \hat{\alpha}_1 \hat{y}[n + m - 1] + \dots + \hat{\alpha}_m \hat{y}[n] = \\ = \hat{\beta}_1 u_0[n + m - 1] + \dots + \hat{\beta}_m u_0[n] , \tag{3}$$

die Ausgangspunkt einer Identifikationsstrategie ist.
Liegt der Parametervektor

$$\hat{\boldsymbol{\alpha}} = (\hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_m, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_m)^T \tag{4}$$

als Schätzung vor, so kann das kontinuierliche Modell $G(p, \hat{\boldsymbol{a}})$ bei bekannter Übertragungsfunktion $H(p)$ des Formiergliedes durch Rückrechnung — gemäß Einleitung, Punkt 3., muß deren Eindeutigkeit gegeben sein — mittels nichtlinearer Parametertransformation

$$\hat{\boldsymbol{a}} = \boldsymbol{f}(\hat{\boldsymbol{\alpha}}, \Delta t) \tag{5}$$

gewonnen werden. Damit ist es auch möglich, ein beliebiges, für den Entwurf einer diskontinuierlichen Steuerung benötigtes diskontinuierliches Modell $F_s^*(z, \hat{\boldsymbol{\alpha}}_s) = \mathfrak{Z}\{H_s(p)\, G(p, \hat{\boldsymbol{a}})\}$ mit

$$\hat{\boldsymbol{\alpha}}_s = \boldsymbol{g}(\hat{\boldsymbol{a}}, \Delta t_s) \tag{6}$$

zu berechnen (vgl. Einleitung).

3. MKQ-Algorithmus

Um ein parameternichtlineares Schätzproblem für $\hat{\boldsymbol{\alpha}}$ zu vermeiden, ist es gebräuchlich, eine Identifikationsstrategie nicht auf dem Ausgangsfehler, sondern auf dem sogenannten verallgemeinerten Fehler zu begründen, z. B. [7] oder [5].
Werden noch solche Gesichtspunkte wie

- außer (2) existiert keine weitere A-priori-Information über $Z(t)$
- ein Modell des den Zufallsprozeß $Z(t)$ charakterisierenden Störsignalfilters wird nicht benötigt
- geringe programm- und rechentechnische Aufwendungen zur Realisierung einer Schätzregel werden verlangt [8]

berücksichtigt, so wird man den MKQ-Algorithmus bevorzugen und damit auf den Einsatz anderer Verfahren [7] [5] und [9] mit in der Regel verbesserten statistischen Eigenschaften verzichten.
Bei Betrachtung des verallgemeinerten Fehlers liefert der MKQ-Algorithmus für das Modell nach (3) bekanntlich die explizite Schätzregel

$$\hat{\boldsymbol{\alpha}} = (\Lambda^T \Lambda)^{-1} \Lambda^T \boldsymbol{y} \tag{7}$$

mit

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\lambda}^T[k] \\ \boldsymbol{\lambda}^T[k+1] \\ \vdots \\ \boldsymbol{\lambda}^T[k+N-1] \end{pmatrix} = (\boldsymbol{Y} \mid \boldsymbol{U}_0) , \tag{8}$$

$$\boldsymbol{\lambda}[n] = (-y[n-1], \dots, -y[n-m], u_0[n-1], \dots, u_0[n-m])^T ; \\ n = k, k+1, \dots, k+N-1 \tag{9}$$

und

$$\boldsymbol{y} = (y[k], y[k+1], \dots, y[k+N-1])^T . \tag{10}$$

In (7) wird Datenmaterial aus $N + m$ Abtastzeitpunkten mit $N \geqq 2m$ benötigt; der Zeitpunkt $k\Delta t$ hängt von den experimentellen Gegebenheiten ab (bei periodischem Eingangssignal Auswertung des Übergangs- und des stationären Verhaltens oder Auswertung des stationären Verhaltens).
Wegen der Eigenschaft der Blockmatrix $\boldsymbol{Y}$ in (8) — sie enthält über (1) die Störungen $z[n]$ — ist Λ eine Realisierung einer Zufallsmatrix $\boldsymbol{\Omega}$, so daß

$$\operatorname{Rg} M[\boldsymbol{\Omega}] = 2m \tag{11}$$

gelten muß, um das vorliegende Schätzproblem lösen zu können. Dieser Sachverhalt bestimmt auch die statistischen Eigenschaften der geschätzten Parameter. Es ist bekannt [7], daß die Schätzungen nach (7) nicht erwartungstreu sind und nur für spezielle Autokorrelationsfunktionen $R_z(\tau)$ des Störprozesses $Z(t)$ asymptotisch erwartungstreue und konsistente Schätzungen erreichbar sind.
Die bei der Schätzung von $\hat{\boldsymbol{\alpha}}$ entstehenden systematischen (Bias) und zufälligen Fehler erzeugen wegen (5) und (6) systematische und zufällige Fehler der Parameter $\hat{\boldsymbol{a}}$ und $\hat{\boldsymbol{\alpha}}_s$ der rückgerechneten Modelle. Um Angaben über die statistischen Eigenschaften von $\hat{A}$ und $\hat{\mathfrak{A}}_s$ machen zu können, wären Aussagen über die $2m$-dimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungsdichtefunktion von $\hat{\mathfrak{A}}$ erforderlich. Selbst wenn zur Approximation eine $(N + m)$-dimensionale Gaußverteilung für $\boldsymbol{Z}$ und eine $2m$-dimensionale Gaußverteilung für $\hat{\mathfrak{A}}$ angenommen werden, scheitern nach Meinung des Autors analytische Betrachtungen an der Kompliziertheit der nichtlinearen Transformationen, vor allem aber an der Tatsache, daß $M[\hat{\mathfrak{A}}]$ und $\operatorname{cov} \hat{\mathfrak{A}}$ — die Matrix $\Lambda^T \Lambda$ ist kein Maß für $\operatorname{cov} \hat{\mathfrak{A}}$, bestimmt jedoch die Kondition des Identifikationsproblems! — für endlichen Datenumfang nicht angebbar sind. Einen Ausweg bieten Großzahlversuche mit anschließender empirischer Auswertung [10].
Um den bei „hohen" Störpegeln i. allg. zu großen Bias einer MKQ-Schätzung — in der Literatur wird in solchen Fällen deren Unbrauchbarkeit begründet konstatiert und empfohlen, andere Verfahren zu verwenden [5] [7] und [11] — zu reduzieren, kommen wegen o. g. Gesichtspunkte insbesondere die in [8] skizzierten MKQ-orientierten vereinfachten Auswertestrategien in Betracht. Dabei ist zu fordern, daß eine derartige Strategie eine rekursive Behandlung zuläßt, wie das für (7) üblich ist.

3. MKQ-Algorithmus mit Meßwertmittelung

Von den MKQ-Strategien

. Meßwertmittelung
. Gemittelte MKQ
. Blockweise Meßwertverarbeitung

(vgl. [8]) eignen sich zur Bias-Reduktion im vorliegenden Schätzproblem lediglich diejenigen, die durch eine Mittelung vor der Anwendung der MKQ (Verlagerung der Mittelungsoperation in das Primärdatenmaterial) eine Reduktion des Störeinflusses bewirken. Liegen Versuchswiederholungen vor, können die Meßwertmittelung und die gemittelte MKQ übereinstimmen.

Bereits in [5] wurde vorgeschlagen, die Meßwertmittelung zu verwenden und die Wiederholungen durch mehrmaliges, zeitlich serielles Experimentieren mittels identischer aperiodischer Testsignale zu erzeugen. Die gleichfalls in [5] angedeutete Möglichkeit, dieses Vorgehen auch auf Pseudo-Rausch-Binär-Signale (PRBS) zu übertragen — es wird das stationäre Verhalten des Systems ausgewertet und die Mittelung des Ausgangssignals $y[n]$ über mehrere Perioden durchgeführt —, wird nach Kenntnis des Autors wenig beachtet.

Hier sei festgestellt, daß die Meßwertmittelung mit Auswertung des stationären Verhaltens bei allen periodischen Testsignalen einsetzbar ist, also z. B. auch bei Verwendung multifrequenter Binärsignale (MBS) [12] oder periodischer Rechtecksignale [11]. Die Parameterschätzung erfolgt nach

$$\hat{\boldsymbol{\alpha}}_{\mathrm{M}} = (\bar{\Lambda}^T \bar{\Lambda})^{-1} \bar{\Lambda}^T \bar{\boldsymbol{y}} \tag{12}$$

mit

$$\bar{\Lambda} = \begin{pmatrix} \bar{\boldsymbol{\lambda}}^T[k+m] \\ \bar{\boldsymbol{\lambda}}^T[k+m+1] \\ \vdots \\ \bar{\boldsymbol{\lambda}}^T[k+l-1] \end{pmatrix} = (\bar{Y} \,\vdots\, U_0)\,, \tag{13}$$

$$\bar{\boldsymbol{\lambda}}[i] = (-\bar{y}[i-1], \dots, -\bar{y}[i-m];\, u_0[i-1], \dots, u_0[i-m])^T$$

$$i = k+m, k+m+1, \dots, k+l-1 \tag{14}$$

und

$$\bar{\boldsymbol{y}} = (\bar{y}[k+m], \bar{y}[k+m+1], \dots, \bar{y}[k+l-1])^T\,, \tag{15}$$

wobei

$$\bar{y}[n] = \frac{1}{\mu} \sum_{r=1}^{\mu} y[n + l(r-1)] = (\boldsymbol{e}_\mu^T \boldsymbol{e}_\mu)^{-1} \boldsymbol{e}_\mu^T \boldsymbol{y}_{\mathrm{n}} \tag{16}$$

mit

$$\boldsymbol{e}_\mu = (1, 1, \dots, 1)_\mu^T \tag{17}$$

und

$$\boldsymbol{y}_{\mathrm{n}} = (y[n], y[n+l], \dots, y[n+l(\mu-1)])^T \tag{18}$$

die Meßwertmittelung für $n = k, k+1, \dots, k+l-1$ über μ Perioden der Länge l bzw. der Dauer $T_0 = l\Delta t$ charakterisiert. Die Auswertung beginnt zum Zeitpunkt $k\Delta t$ im stationären Zustand; die Periodenlänge l muß der Bedingung

$$l \geqq 3m \tag{19}$$

genügen, wenn periodische Fortsetzungen innerhalb des Datenmaterials ausgeschlossen werden sollen.

Um den Bias zu verringern, ist anzustreben, die Anzahl μ der Perioden bei vorgegebener Beobachtungsdauer $T = \mu T_0$ durch Verwendung bezüglich T_0 kurzperiodischer Testsignale, die die Identifizierbarkeit des Basismodells sichern, zu erhöhen. Die Parameterschätzung kann leicht rekursiv gestaltet werden. Für (16) bietet sich eine rekursive Mittelung in l Kanälen an; (12) ist in Verbindung mit (16) in verschiedenen Varianten rekursiv stratifizierbar.

Die MKQ-Schätzungen mit Meßwertmittelung sind, unabhängig von der Autokorrelationsfunktion $R_z(\tau)$ des Störprozesses $Z(t)$, asymptotisch erwartungstreu und konsistent. Wegen

$$\bar{y}[n] = y^0[n] + \bar{z}[n] \tag{20}$$

und

$$\bar{z}[n] = (\boldsymbol{e}_\mu^T \boldsymbol{e}_\mu)^{-1} \boldsymbol{e}_\mu^T \boldsymbol{z}_{\mathrm{n}} \tag{21}$$

mit

$$\boldsymbol{z}_{\mathrm{n}} = (z[n], z[n+l], \dots, z[n+l(\mu-1)])^T \tag{22}$$

gilt (vgl. (17) und (2))

$$M[\bar{Z}[n]] = 0 \tag{23}$$

sowie

$$\sigma_{\bar{z}}^2 = \frac{\sigma_z^2}{\mu} + \frac{2}{\mu^2} \sum_{\nu=1}^{\mu-1} (\mu - \nu)\, R_z[\nu l] \tag{24}$$

und unter relativ schwachen Voraussetzungen — $R_z(\tau)$ muß absolut integrierbar sein —

$$\lim_{\mu \to \infty} \sigma_{\bar{z}}^2 = 0\,. \tag{25}$$

Bei Meßwertmittelung über eine endliche Periodenanzahl μ sind die Schätzungen nicht erwartungstreu; der Bias wird jedoch im Vergleich zur MKQ ohne Meßwertmittelung (siehe Abschn. 2.) bei gleicher Beobachtungsdauer reduziert. Wie stark durch die MKQ-Strategie mit Meßwertmittelung die Streuungen der Schätzungen oder die Effektivitätsmaße [8]

$$\gamma_1 = \frac{\det \operatorname{cov} \hat{\mathfrak{A}}}{\det \operatorname{cov} \hat{\mathfrak{A}}_{\mathrm{M}}} \tag{26}$$

und

$$\gamma_2 = \frac{\operatorname{sp} \operatorname{cov} \hat{\mathfrak{A}}}{\operatorname{sp} \operatorname{cov} \hat{\mathfrak{A}}_{\mathrm{M}}} \tag{27}$$

sowie die Eigenschaften der Parameter der rückgerechneten Modelle beeinflußt werden, kann nur experimentell durch Auswertung von Großzahlversuchen für ausgewählte simulierte Beispiele ermittelt werden (vgl. auch Abschn. 2.).

Soll bei Benutzung bezüglich T_0 relativ langperiodischer Testsignale der Bias reduziert werden, so wird empfohlen, die Parameterschätzung mit Hilfe der gemittelten MKQ [8] durchzuführen. Diese Strategie ist — unter Verlust der Eigenschaft der Konsistenz — auch einsetzbar, wenn Datenmaterial lediglich aus einem einmaligen Übergangsvorgang zur Verfügung gestellt werden kann (z. B. Experimentation der Sprungantwortfunktion bei Erregung aus dem Nullzustand). Die erforderliche Clusterbildung ist so zu gestalten, daß die Identifizierbarkeitsbedingung nicht zerstört wird.

Die MKQ mit Meßwertmittelung und die gemittelte MKQ sind — insbesondere bei korrelierten Störungen — rechentechnisch günstige Alternativlösungen zur MKQ mit Bias-Korrektur (CLS-compensated least-squares [13] und [14]) sowie im Sinne der Untersuchungen von [13] auch mögliche Alternativen bestimmter Verfahren der Instrumental-Variablen-Methode (IV).

4. Periodische Testsignale

4.1. Konstruktion

Das diskontinuierliche periodische Testsignal ist so zu strukturieren, daß die Parameter der Differenzengleichung (3) im Sinne der Forderung von (11) identifizierbar sind. Wird die Identifikationsstrategie beachtet — die Parameterschätzung erfolgt nach der MKQ mit Meßwertmittelung gemäß Abschn. 3. —, muß der Testsignalentwurf zusätzlich folgende praktische Gesichtspunkte berücksichtigen:

1. Verwendung **einfach** strukturierter Signale, die geeignet sind, ein Basismodell der Ordnung $m \underset{(=)}{<} 5$ zu identifizieren
2. Ausnutzung des technisch zulässigen Aussteuerbereiches um einen festen Arbeitspunkt bei möglichst hoher Signalleistung und ggf. Einhaltung der Forderung nach Mittelwertfreiheit des Signals
3. Verzicht auf spezielle Signalgeneratoren und damit auf komplizierte Off-line-Algorithmen zur Signalkonstruktion, also Speicherung einer „vorgefertigten", periodisch abrufbaren Wertefolge $\{u_0[i]\}_{i=0}^{l-1}$ im Rechner.

Diese Gesichtspunkte schränken die Freiheitsgrade bei der Konstruktion der Testsignale in starkem Maße ein. Hinzu kommt, daß ein Gütekriterium für einen optimalen Testsignalentwurf — hier wäre das konditionsbestimmende Maß det $\{M[\bar{\boldsymbol{\Omega}}^T]\, M[\bar{\boldsymbol{\Omega}}]\}$

denkbar, will man asymptotische Zugänge [15] vermeiden — von den wahren, aber unbekannten Parametern $\boldsymbol{\alpha}$ abhängt, diese jedoch durch die in bestimmten Grenzen frei wählbare Abtastperiode Δt wesentlich geprägt werden.

Um die Kompliziertheit einer optimalen Versuchsplanung zu unterstreichen, sei herausgestellt, daß bei vorgegebener Beobachtungsdauer $T = \mu T_0$

- die Werte $u_0[i]$; $i = 0, 1, \ldots, l-1$; unter Einhaltung von Restriktionen (Amplitude, Leistung)
- die Periodenlänge l
- die Abtastperiode Δt

die Planungsparameter sind, das Planungsziel aber nicht die Identifikation des in einem bestimmten Sinne optimalen Basismodells, sondern die eines rückgerechneten Modells ist!

Deshalb erfolgt hier der Entwurf periodischer Testsignale vordergründig aus der Sicht der Identifizierbarkeit des Basismodells bei Einhaltung o. g. praktischer Forderungen.

Aus der Spektraltheorie (siehe z. B. [2] und [16]) resultiert, daß die periodische Wertefolge $\{u_0[n]\}$ durch

$$u_0[n] = \sum_{(\nu)} c_\nu \, e^{j\nu 2\pi n/l} \tag{28}$$

mit der (periodischen) Spektralfolge $\{c_\nu\}$ gemäß

$$c_\nu = \frac{1}{l} \sum_{n=0}^{l-1} u_0[n] \, e^{-j\nu 2\pi n/l} \tag{29}$$

und

$$\nu = 0; \pm 1; \pm 2; \ldots; \pm \tfrac{1}{2}(l-1) \tag{30}$$

für l-ungerade,

$$\nu = 0; \pm 1; \pm 2; \ldots; \pm \left(\frac{l}{2} - 1\right); + \frac{l}{2} \tag{31}$$

für l-gerade

dargestellt werden kann. Die Spektralfolge ist durch das normierte diskrete Spektrum

$$\overline{\omega}_\nu = \nu 2\pi/l = \nu \Omega_0 \Delta t \tag{32}$$

im Intervall

$$-\pi < \overline{\omega}_\nu \leqq \pi \tag{33}$$

eindeutig bestimmt, wobei

$$\Omega_0 = 2\pi/T_0 \tag{34}$$

die Grundfrequenz und

$$T_0 = l\Delta t \tag{35}$$

die Periodendauer des Signals $u(t)$ entsprechend dem Bild bezeichnen. Im Intervall (33) liegen also q „Frequenzen" $\overline{\omega}_\nu$ mit $q \leqq l$.

Wird der periodischen Wertefolge $\{u_0[n]\}$ eine verallgemeinerte Autokorrelationsfunktion $R_{u_0}[\lambda]$, die wegen

$$R_{u_0}[\lambda] = \frac{1}{l} \sum_{n=0}^{l-1} u_0[n] \, u_0[n+\lambda] \tag{36}$$

ebenfalls mit l periodisch ist, zugeordnet, so gilt

$$R_{u_0}[\lambda] = \sum_{(\nu)} d_\nu \, e^{j\nu 2\pi \lambda/l} \tag{37}$$

mit

$$d_\nu = c_\nu c_{-\nu} = |c_\nu|^2 \tag{38}$$

und ν nach (30) bzw. (31). Die Wertefolge $\{u_0[n]\}$ hat also eine spektrale „Leistung" zu den q „Frequenzen" $\overline{\omega}_\nu$, zu denen eine komplexe Amplitude existiert. Die „Gesamtleistung" P_{u_0} von $\{u_0[n]\}$ ist durch

$$P_{u_0} = \frac{1}{l} \sum_{n=0}^{l-1} u_0^2[n] = \sum_{(\nu)} d_\nu \tag{39}$$

gegeben.

Wird $\{u_0[n]\}$ einseitig z-transformiert ($n \geqq 0$), folgt

$$\boldsymbol{Z}\{u_0[n]\} = \frac{\boldsymbol{Z}\{u_0[n]_1\}}{1 - z^{-l}} = \frac{z \sum_{n=0}^{l-1} u_0[n] \, z^{l-1-n}}{z^l - 1} \tag{40}$$

mit

$$\boldsymbol{Z}\{u_0[n]_1\} = \sum_{n=0}^{l-1} u_0[n] \, z^{-n} \tag{41}$$

und

$$c_\nu = \frac{1}{l} \boldsymbol{Z}\{u_0[n]_1\}\big|_{z = e^{j\nu 2\pi/l}}. \tag{42}$$

Das normierte diskrete Spektrum $\overline{\omega}_\nu$ ist durch die Pole von $\boldsymbol{Z}\{u_0[n]\}$ bestimmt. Sind Zähler- und Nennerpolynom von $\boldsymbol{Z}\{u_0[n]\}$ relativ prim, existieren genau $q = l$ „Frequenzen" $\overline{\omega}_\nu$, die der Kreisteilungsgleichung

$$z^l - 1 = 0 \tag{43}$$

genügen; anderenfalls enthält das Spektrum q „Frequenzen" $\overline{\omega}_\nu$ mit $q < l$.

Aus Untersuchungen zur Identifizierbarkeit der Differenzengleichung (3) mit der Ordnung m und $2m$ Parametern folgt (siehe [15] und die dort zitierte Basisliteratur), daß die periodische Wertefolge $\{u_0[n]\}$ durch ein diskretes Spektrum von q „Frequenzen" $\overline{\omega}_\nu$ darstellbar sein muß, wobei

$$2m \leqq q \leqq l \tag{44}$$

die notwendige Bedingung für die Existenz einer MKQ-Lösung fixiert. Im Grenzfall $2m = q = l$ ist ein Testsignal mit der kürzest möglichen Periodenlänge $l = l_{\min}$ festgelegt.

Wird (19) berücksichtigt, muß

$$2m \leqq q < 3m \leqq l \tag{45}$$

oder

$$3m \leqq q \leqq l \tag{46}$$

gelten, um periodische Fortsetzungen innerhalb des Datenmaterials in (12) auszuschließen.

Das kontinuierliche Signal $u(t)$ am Eingang des kontinuierlichen Systems (vgl. Bild) kann durch die periodische verallgemeinerte Autokorrelationsfunktion $R_u(\tau) \equiv R_u(\tau + T_0)$ für alle τ mit

$$R_u(\tau) = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} u(t) \, u(t+\tau) \, dt = \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta_r \, e^{jr\Omega_0 \tau} \tag{47}$$

und

$$\delta_r = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} R_u(\tau) \, e^{-jr\Omega_0 \tau} \, d\tau \tag{48}$$

charakterisiert werden. Die spektralen Leistungen δ_r werden für die Frequenzen

$$\omega_r = r\Omega_0; \qquad r = 0; \pm 1; \pm 2; \ldots \tag{49}$$

wirksam. Die Gesamtleistung von $u(t)$ ist

$$P_u = \delta_0 + 2 \sum_{r=1}^{\infty} \delta_r \,. \tag{50}$$

Wird als technisch dominierendes Formierglied das Halteglied nullter Ordnung

$$H(p) = \frac{1}{p} (1 - e^{-p\Delta t}) \tag{51}$$

betrachtet, so gilt

$$\delta_r = d_r \left(\frac{\sin r\pi/l}{r\pi/l} \right)^2; \qquad r = 0; \pm 1; \pm 2; \ldots; \tag{52}$$

wobei nach (38) $d_{-r} = d_r$, und wegen (29) bis (31) die d_r den periodischen Folgen

$$\begin{aligned} &d_0, d_1, \ldots, d_{1/2(l-3)}, d_{1/2(l-1)}, d_{1/2(l-1)}, d_{1/2(l-3)}, \ldots \\ &\ldots, d_1; d_0, d_1, \ldots, d_1; \ldots \end{aligned} \tag{53}$$

für l-ungerade

bzw.

$$d_0, d_1, \ldots, d_{(l/2)-1}, d_{l/2}, d_{(l/2)-1}, \ldots, d_1; d_0, d_1, \ldots, d_1; \ldots \tag{54}$$

für l-gerade

entstammen. Im Intervall technisch realer Frequenzen

$$0 \leq \omega \leq \varkappa \Omega_0; \qquad \varkappa \geq 1\,, \quad \text{ganz}\,, \tag{55}$$

werden dem kontinuierlichen System maximal $\varkappa + 1$ Partialschwingungen angeboten, die eine Leistung

$$P_{u,\varkappa} = d_0 + 2 \sum_{r=1}^{\varkappa} d_r \left(\frac{\sin r\pi/l}{r\pi/l}\right)^2 \tag{56}$$

repräsentieren.

Bei Vorgabe einer bestimmten Periodendauer T_0 des Signals $u(t)$ ist wegen (35) mit der Wahl der Periodenlänge l der Wertefolge $\{u_0[n]\}$ die Abtastperiode Δt festgelegt. Durch $\{u_0[i]\}_{i=0}^{l-1}$ sind die Spektralfolgen $\{c_\nu\}$ und $\{d_\nu\}$ zu den $q \leq l$ „Frequenzen" des normierten diskreten Spektrums $\overline{\omega}_\nu$ (vgl. (29) und (38)) gegeben; gleichzeitig sind die spektralen Leistungen δ_r (vgl. (51) und (52)) des Signals $u(t)$ zu den $\varkappa$ Frequenzen ω_r (vgl. (49) und (55)) fixiert.

Zur besseren Ausnutzung der in $y(t)$ enthaltenen Information über die Systemparameter (siehe Bild) sowie zur Sicherung der Eindeutigkeit der rückgerechneten Modelle (vgl. Einleitung Punkt 3.) kann die Abtastung von $y(t)$ χ-mal ($\chi > 1$, ganz) je Δt, also mit der Abtastperiode

$$\Delta t' = \Delta t/\chi\,, \tag{57}$$

erfolgen. Dieses Vorgehen beeinflußt nicht das Signal $u(t)$, verändert jedoch die im Schätzalgorithmus einzusetzenden Wertefolgen ($\{u_0'[n]\}$, $\{y'[n]\}$ statt $\{u_0[n]\}$, $\{y[n]\}$) und damit die Werte der geschätzten Parameter des diskontinuierlichen Basismodells sowie die Parameterrückrechnung (Halteglied nullter Ordnung mit $\Delta t'$ statt Δt). Die Folge $\{u_0'[n]\}$ entsteht durch abschnittsweise „Verlängerung" aus der Folge $\{u_0[n]\}$, so daß nicht notwendig $\{u_0'[n]\}$ moduliert werden muß, sondern für die Experimentation weiterhin mit $\{u_0[n]\}$ gearbeitet werden kann.

Für $\{u_0'[n]\}$ gilt

$$l' = \chi l \tag{58}$$

und

$$q < q' < l' \tag{59}$$

mit den Spektralfolgen $\{c_\nu'\}$ und $\{d_\nu'\}$; wegen (57) ist

$$T_0 = l'\Delta t' = l\Delta t\,. \tag{60}$$

Durch zusätzliche Abtastung von $y(t)$ erhöht sich also die Anzahl der „Frequenzen" des Spektrums $\overline{\omega}_\nu$ (Verbesserung der Qualität der Parameterschätzung des Basismodells der Ordnung m oder Möglichkeit zur Identifikation eines Basismodells der Ordnung $m' > m$), während wegen $u'(t) = u(t)$ das Spektrum ω_r erhalten bleibt. So hat z. B. die zentrierte periodische Rechteckfolge $\{+1, -1; \ldots\}$ die Parameter $l = 2$ und $q = 1$, und aus

$$\boldsymbol{Z}\{u_0'[n]\} = \frac{z(z^\chi - 1)^2}{(z-1)(z^{2\chi} - 1)} \tag{61}$$

folgt $l' = 2\chi$ und $q' = \chi > 1$ (siehe (40)).

Die mit (44) formulierte notwendige Bedingung für die Identifizierbarkeit des Basismodells entspricht der Forderung nach einer sogenannten „persistent excitation" [17] [7] und [15]. Existieren nämlich für die periodische Wertefolge $\{u_0[n]\}$ der Mittelwert $\overline{u}_0 = \frac{1}{l} \sum_{n=0}^{l-1} u_0[n]$ und die verallgemeinerte Autokorrelationsfunktion $R_{u_0}[\lambda]$ nach (36), so ist für die Identifizierbarkeit notwendig, daß die verallgemeinerte Kovarianzmatrix

$$\Sigma_{u_0}^{(q)} = \begin{pmatrix} R_{u_0}[0] & R_{u_0}[1] & \ldots & R_{u_0}[q-1] \\ & R_{u_0}[0] & \ldots & R_{u_0}[q-2] \\ \text{symmetr.} & & \ddots & \vdots \\ & & & R_{u_0}[0] \end{pmatrix} \tag{62}$$

für $q = 2m$ positiv definit ist, also die Folge der Hauptabschnittsdeterminanten der Matrix (62) der Beziehung

$$\det \Sigma_{u_0}^{(i)} > 0; \qquad i = 1, 2, \ldots, q; \tag{63}$$

genügt.

Unter Berücksichtigung des Einsatzes des MKQ-Algorithmus mit Meßwertmittelung zur Parameterschätzung resultiert aus der Sicht der Identifizierbarkeit des Basismodells folgende Möglichkeit zur vereinfachten Konstruktion periodischer Testsignale:

1. Vorgabe der Periodendauer T_0 gemäß
$$T_0 \approx T_e \tag{64}$$
mit T_e-Beruhigungszeit des kontinuierlichen Systems [7]
2. Wahl der Periodenlänge l entsprechend der Ordnung m des Basismodells nach (19)
3. Berechnung der Abtastperiode Δt aus (35)
4. Auswahl einer Wertefolge $\{u_0[i]\}_{i=0}^{l-1}$ der Länge l (Aussteuerbereich um einen festen Arbeitspunkt symmetrisch und auf ± 1 normiert) aus einer Menge vorgefertigter binärer bzw. einfacher ternärer Folgen, die der Bedingung (45) oder (46) genügt
5. Wahl der Anzahl χ der Abtastungen je Δt und Berechnung von $\Delta t'$ nach (57).

Die Schritte 2., 4. und 5. sind in Abhängigkeit vom gewählten Signaltyp (vgl. (58) und (59)) stark verkoppelt. Bei Schritt 4. sind spektralanalytische Aspekte (vgl. (52), (55) und (56)) zu berücksichtigen. Im Schritt 5. können über die oben diskutierten Gesichtspunkte hinaus weitere Empfehlungen zur Wahl der Abtastperiode $\Delta t'$ einfließen [5]; dabei ist jedoch zu beachten, daß mit einer Verkleinerung von $\Delta t'$ wegen $l' > l$ nach (58) die Anzahl der benötigten Mittelungskanäle im Schätzalgorithmus (12) ansteigt.

4.2. *Katalog periodischer Testsignale*

a) **PRBS**

Es ist bekannt [12], daß für

$$l = 2^s - 1; \qquad s = 2, 3, \ldots; \tag{65}$$

und für

$$l = 4r - 1; \qquad r = 1, 2, \ldots; \qquad l \text{ Primzahl} \tag{66}$$

unzentrierte PRBS existieren; diese erfüllen die Forderungen in Abschn. 4.1. Für die Wertefolgen gilt

$$u_0[n] = +1 \quad \text{oder} \quad -1 \quad \text{mit} \quad P_{u_0} = 1\,,$$

$$q = l; \quad l \text{ ungerade}$$

$$R_{u_0}[\lambda] = \begin{cases} 1 & \text{für} \quad \lambda = 0;\ \pm l;\ \pm 2l;\ \ldots\,, \\ -1/l & \text{sonst} \end{cases}$$

mit

$$\det \Sigma_{u_0}^{(i)} = \frac{(l+1-i)(l+1)^{i-1}}{l^i} > 0;$$

$$i = 1, 2, \ldots, l;$$

und

$$d_0 = 1/l^2;$$

$$d_\nu = \frac{1}{l}\left(1 + \frac{1}{l}\right); \qquad \nu = \pm 1; \pm 2; \ldots; \pm \frac{1}{2}(l-1);$$

$$q' = (l-1)\chi + 1; \qquad \chi \underset{(=)}{>} 1\,, \quad \text{ganz}\,.$$

Zur Lösung des Identifikationsproblems (Abschn. 3.) können z. B. die nachstehenden Folgen verwendet werden:

$l = 3$; $m = 1$

$+1; +1; -1$

$l = 7$; $m \leq 2$

$+1; +1; +1; -1; +1; -1; -1$

$l = 11;\ m \leqq 3$

$+1;\ +1;\ +1;\ -1;\ +1;\ +1;\ -1;\ +1;\ -1;\ -1;\ -1$

$l = 15;\ m \leqq 5$

$+1;\ +1;\ +1;\ +1;\ -1;\ +1;\ -1;\ +1;\ +1;\ -1;\ -1;\ +1;\ -1;\ -1;\ -1$

$l = 19;\ m \leqq 6$

$+1;\ +1;\ +1;\ +1;\ -1;\ +1;\ -1;\ +1;\ -1;\ -1;\ -1;\ -1;\ +1;\ +1;\ -1;\ +1;\ +1;\ -1;\ -1$

b) **Ternäre Signale**

Für

$$l = 2r - 1; \qquad r = 2, 3, \ldots, 8; \qquad l \text{ Primzahl} \tag{67}$$

wurden vom Autor zentrierte ternäre Signale gefunden, die die Forderungen in Abschn. 4.1. erfüllen. Für die Wertefolgen, die nicht zur Menge der ternären m-Folgen gehören, gilt

$$u_0[n] = +1 \quad \text{oder} \quad 0 \quad \text{oder} \quad -1 \quad \text{mit} \quad P_{u_0} = 1 - 1/l\,,$$

$$q = l - 1; \qquad l \text{ ungerade, Primzahl}\,,$$

$$R_{u_0}[\lambda] = \begin{cases} 1 - 1/l & \text{für} \quad \lambda = 0; \pm l; \pm 2l; \ldots \\ -1/l & \text{sonst} \end{cases}$$

mit

$$\det \Sigma_{u_0}^{(i)} = \frac{l - i}{l} > 0; \qquad i = 1, 2, \ldots, l - 1$$

und

$$d_0 = 0$$

$$d_\nu = 1/l; \qquad \nu = \pm 1; \pm 2; \ldots; \pm \tfrac{1}{2}(l - 1);$$

$$q' = (l - 1)\,\chi; \qquad \chi \underset{(=)}{>} 1\,, \quad \text{ganz}\,.$$

Ein Nachweis der Existenz derartiger Folgen für $r \geqq 9$ in (67) gelang bisher nicht. Da für $l \geqq 15$ die PRBS nach (65) und (66) ähnliche Spektraleigenschaften haben und deren Mittelwert nur wenig von Null abweicht, können bei geforderter Mittelwertfreiheit in Näherung diese statt der ternären Signale eingesetzt werden.

Zur Lösung des Identifikationsproblems (Abschn. 3.) können z. B. die nachstehenden Folgen verwendet werden:

$l = 3;\ m = 1$

$+1;\ 0;\ -1$

$l = 5;\ m = 1$

$+1;\ -1;\ 0;\ -1;\ +1$

$l = 7;\ m \leqq 2$

$+1;\ -1;\ -1;\ 0;\ +1;\ +1;\ -1$

$l = 11;\ m \leqq 3$

$+1;\ +1;\ +1;\ -1;\ +1;\ 0;\ -1;\ +1;\ -1;\ -1;\ -1$,

$l = 13;\ m \leqq 4$

$+1;\ +1;\ -1;\ -1;\ +1;\ -1;\ 0;\ -1;\ +1;\ -1;\ -1;\ +1;\ +1$

c) **Rechtecksignale**

Durch technologische Restriktionen bedingt, kann es erforderlich sein, mit zentrierten oder unzentrierten periodischen Rechtecksignalen gleicher Einschalt- und Ausschaltdauer zu experimentieren [11].

Für die Wertefolgen zentrierter Signale gilt

$$u_0[n] = +1 \quad \text{oder} \quad -1 \quad \text{mit} \quad P_{u_0} = 1\,,$$

$$q = 1; \quad l = 2$$

$$R_{u_0}[\lambda] = \begin{cases} 1 & \text{für} \quad \lambda = 0; \pm 2; \pm 4; \ldots \\ -1 & \text{für} \quad \lambda = \pm 1; \pm 3; \ldots \end{cases}$$

mit

$$\det \Sigma_{u_0}^{(1)} = 1 > 0$$

und

$$d_0 = 0\,,$$

$$d_1 = 1\,.$$

Um die Forderungen in Abschn. 4.1. zu erfüllen, kommen zur Lösung des Identifikationsproblems (Abschn. 3.) nur χ-mal je Δt abgetastete Signale in Frage.

Für die zentrierten Wertefolgen gilt dann

$$u_0'[n] = +1 \quad \text{oder} \quad -1 \quad \text{mit} \quad P_{u_0'} = P_{u_0} = 1\,,$$

$$q' = \chi; \qquad l' = 2\chi; \ \chi \geqq 2\,, \quad \text{ganz}\,,$$

$$\det \Sigma_{u_0'}^{(i)} = \frac{(\chi + 1 - i) \cdot 4^{i-1}}{\chi^i} > 0;$$

$$i = 1, 2, \ldots, \chi\,,$$

$\chi \geqq 2m$ (Bedingung im Sinne von (44) bis (46)).

Für unzentrierte Wertefolgen (einseitige Aussteuerung) gilt dann

$$u_0'[n] = +1 \quad \text{oder} \quad 0 \quad \text{mit} \quad P_{u_0'} = P_{u_0} = 0{,}5\,,$$

$$q' = \chi + 1; \qquad l' = 2\chi; \qquad \chi \underset{(=)}{>} 1\,, \quad \text{ganz}\,,$$

$$\det \Sigma_{u_0'}^{(i)} = \frac{2\chi + 1 - i}{4 \cdot \chi^i} > 0; \qquad i = 1, 2, \ldots, \chi + 1;$$

$$\chi \underset{(=)}{>} 2m - 1\,.$$

Der Katalog erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Wird jedoch die spezielle Schätzstrategie benutzt und dabei außer der Ordnung m sowie der Beruhigungszeit T_e keine detailliertere A-priori-Information (z. B. Wertebereiche der Parameter; wesentlicher Frequenzbereich) über das kontinuierliche System vorausgesetzt, erscheint es sinnvoll, solche periodischen Signale zu wählen, deren Wertefolgen im diskreten Spektrum eine maximal mögliche Anzahl q von „Frequenzen" bei gleichverteilter spektraler „Leistung" d_ν enthalten. Dieser Sachverhalt spricht aber gerade für die PRBS und die vorgeschlagenen einfachen ternären Signale. Die periodischen Rechtecksignale wurden aus praktischen Erwägungen aufgenommen, obwohl sie bei vergleichbarem Aufwand an Mittelungskanälen ungünstigere Spektraleigenschaften aufweisen.

Zusammenfassung

Die Bereitstellung kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Modelle für den Entwurf einer Steuerung kontinuierlich wirkender, einvariabler linearer zeitinvarianter Systeme muß in der Regel durch Rückrechnung diskontinuierlicher Basismodelle, deren Parameter on-line unter Benutzung eines Klein- oder Mikroprozeßrechners geschätzt werden, erfolgen. Die bei der Identifikation und der Rückrechnung vom Experimentator zu beachtenden Probleme werden herausgestellt.

Für eine aktive, prozeßrechnergesteuerte Experimentation werden periodische Testsignale verwendet. Als Schätzstrategie wird vorgeschlagen, die auf dem verallgemeinerten Fehler begründete MKQ mit Meßwertmittelung (Auswertung des stationären Verhaltens) einzusetzen. Diese Strategie liefert im Gegensatz zur MKQ immer asymptotisch erwartungstreue und konsistente Schätzungen und stellt unter bestimmten Bedingungen eine rechentechnisch günstige Alternative zu Algorithmen mit Biasreduktion dar. Weiterhin kann leicht gezeigt werden, daß der kürzlich in [18] veröffentlichte Zugang im Spektralbereich dem hier vorgeschlagenen Zugang im Zeitbereich äquivalent ist, aber einen bedeutend höheren Aufwand erfordert.

Da die Konstruktion der für den Algorithmus benötigten periodischen Testsignale im strengen Sinne einer optimalen Versuchsplanung sehr kompliziert ist, werden diese aus der Sicht der Identifizierbarkeit des Basismodells unter Einhaltung prakti-

scher Forderungen entworfen. Aus spektralanalytischen Untersuchungen wird die notwendige Bedingung für die Identifizierbarkeit abgehoben und dabei insbesondere auf die Wirkung einer Mehrfachabtastung eingegangen. Ein mögliches Vorgehen zur Signalkonstruktion unter Benutzung „vorgefertigter" Wertefolgen (PRBS, einfache ternäre Signale, Rechtecksignale) wird fixiert.

Die Schätzstrategie mit den im angegebenen Katalog enthaltenen periodischen Testsignalfolgen wird gegenwärtig im simulierten Betrieb erprobt; über Ergebnisse und Anwendungsempfehlungen soll später berichtet werden.

Literatur

[1] *Tou, J. T.:* Digital and sampled-data control systems. New York/Toronto/London: McGraw-Hill Book Company 1959.

[2] *Ragazzini, J. R.; Franklin, G. F.:* Sampled-data control systems. New York: McGraw-Hill Book Company 1958.

[3] *Ackermann, J.:* Abtastregelung. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1972.

[4] *Sinha, N. K.; Lastman, G. J.:* Identification of continuous-time multivariable systems from sampled data. Int. J. Control 35 (1982) 1, S. 117–126.

[5] *Isermann, R.:* Prozeßidentifikation. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1974.

[6] *Buchta, H.:* Versuchsplanung bei korrelierten Störungen. msr, Berlin 21 (1978) 10, S. 546–550.

[7] *Eykhoff, P.:* System identification. London: John Wiley and Sons, Ltd. 1974.

[8] *Buchta, H.:* Strategien zur vereinfachten Auswertung von Experimenten am Beispiel der Identifikation statischer Systeme. msr, Berlin 26 (1983) 2, S. 62–66.

[9] *Unbehauen, H.; Göhring, B.; Bauer, B.:* Parameterschätzverfahren zur Systemidentifikation. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1974.

[10] *Buchta, H.; Behrens, B.:* Parameterschätzung bei nichtlinearen statischen Modellen mit impliziter Struktur. msr, Berlin 25 (1982) 8, S. 427–431.

[11] *Wede, J.; Werner, D.:* Möglichkeiten rekursiver Regressionsmethoden bei Verwendung einfachster Testsignale. msr, Berlin 24 (1981) 12, S. 676–685.

[12] *Strobel, H.:* Experimentelle Systemanalyse. Berlin: Akademie-Verlag 1975.

[13] *Stoica, P.; Söderström, T.:* Bias correction in least-squares identification. Int. J. Control 35 (1982) 3, S. 449–457.

[14] *Sagara, S.; Wada, K.:* On-line modified least-squares parameter estimation of linear discrete dynamical systems. Int. J. Control 25 (1977) 3, S. 329–343.

[15] *Zarrop, M. B.:* Optimal experiment design for dynamic system identification. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1979.

[16] *Lange, F. H.:* Signale und Systeme. Band 1. Berlin: VEB Verlag Technik 1975.

[17] *Aström, K. J.; Bohlin, T.:* Numerical identification of linear dynamic systems from normal operating records. IFAC (Teddington) Symposium 1965 on "The Theory of Self-adaptive Control Systems", Vortrag 3.2. Teddington England 1965.

[18] *Kabaila, P.:* On computing output-error estimates. IEEE Trans. Autom. Contr. AC-28 (1983) 1, S. 99–101.

msr 7868

Doz. Dr. sc. techn. *W. Bennewitz*, Leipzig, und Dipl.-Ing. *J. Schmiele*, Berlin[1])

Einige Gedanken zur Einführung von CAE-Arbeitsplätzen in der Anlagenautomatisierung

IA 5.6.0.

0. Einleitung

Gegenwärtig werden weltweit immer stärker rechnergestüzte Methoden in der Projektierung, Konstruktion und Fertigung eingesetzt. Sie eröffnen auf eindrucksvolle Weise ein breites Funktionsspektrum von der Zeichnungserstellung über die Arbeitsvorbereitung bis zur NC-Programmierung. Es ist zu erwarten, daß dieses neue Gebiet der rechnergestützten Arbeit enorme Produktivitätsschübe auslöst. Nicht zu vernachlässigen sind aber auch die Wettbewerbsvorteile, die sich durch

- schnelle Auftragsabwicklung
- hohe Flexibilität
- bessere Qualität
- günstigere Kosten/Nutzen-Relationen

ergeben.

Aus der Sicht der Informationsverarbeitung wird gegenwärtig folgende Einteilung der rechnergestützten (computer aided) Ingenieurarbeit benutzt [1]:

CAD	design	Verarbeitung und Darstellung geometrischer Zusammenhänge; in der Regelungstechnik auch „Entwurf" von Reglern mit Diagrammen
CAM	manufacturing	NC-Maschinen, Steuerlochstreifen direkt aus CAD
CAP	planning	technologische Fertigungsplanung
CAT	testing	Prüfung
CAE	engineering	Projektierung - Aufgabenstellung
CAO	operating	Bildschirm-Meßwarten.

In [2] wird zur Vermeidung der englischen Begriffe CAD, CAM, der zudem nicht nur im deutschen Sprachgebrauch vieldeutig genutzt wird, ausgehend von dem kennzeichnenden Hauptmerkmal „Durchgängig automatisierte Systeme" (der konstruktiven und technologischen Vorbereitung und Fertigung), der Begriff DAUS vorgeschlagen. Dies betrifft im wesentlichen Konzeptionen zur Konstruktion, Fertigungsvorbereitung und Fertigung in der metallverarbeitenden Industrie.

Die Autoren verwenden nachfolgend den Begriff CAE, da dieser die Spezifik der Projektierung und Konstruktion von Automatisierungsanlagen am besten beschreibt.

1. Einführungsphasen für CAE-Systeme in der Anlagenautomatisierung

1.1. *Zerlegung in Prozeßkomplexe*

Bei der beabsichtigten Einführung eines CAE-Systems muß der zu rationalisierende Prozeß (hier Projektierung und Konstruktion) in dem späteren Anwender bekannte Prozeßkomplexe (Zeichnungserstellung, Aufgabenabstimmung, Materialbestellung, Montagevorbereitung, Fertigungsvorbereitung, Sonderaufgaben, Bepreisung und Komplettierung der Dokumentation) zerlegt werden. Dann erfolgt durch den Anwender eine Analyse mit anschließender Abschätzung der bisherigen Zeitaufwendungen für diese Arbeitsgänge und eine Überprüfung vorhandener EDV-Projekte (meist Stapelverarbeitungen) auf Einbeziehbarkeit oder Ersatz derselben [3].

Im Anschluß daran bzw. parallel dazu muß der Anwender mit der Vielzahl der Möglichkeiten, die die einzusetzende Technik hat, bekannt gemacht werden. Sollte zu Beginn des Prozesses die Technik noch nicht in vollem Umfang bekannt sein, so müssen die geplanten Fähigkeiten der dann vorhandenen Entwicklungsziele für Geräte als Grundlage dienen. Nach Erfüllung dieser beiden Anfangsbedingungen kann eine Konzeption für eine

---

[1]) Mitteilung aus der TH Leipzig, Sektion Anlagenautomatisierung, und dem VEB GRW Teltow, BT Berlin.

Rechnerstützung erarbeitet werden. Die aus der Konzeption ableitbare Einsparung je Komplex gewichtet mit dem Anteil dieses Komplexes am Gesamtprozeß läßt eine Entscheidung zu, ob eine Rechnerstützung ökonomisch ist oder nicht. Beim Abschluß der ersten Phase steht also ein Grobkonzept zur Lösung dieser Rationalisierungsaufgabe, zur Vorbereitung von Entwicklungen und des Investitionsentscheides zur Verfügung.
Parallel dazu muß der Anwender des Rechners sich für eine Organisationsform im Umgang mit der Maschine vor Beginn der o. a. Entwicklungen entschieden haben, weil diese dadurch beeinflußt werden (s. Abschn. 3.).

1.2. *Auswahl des Rechnersystems*

Zu diesem Zeitpunkt muß entsprechend dem in der ersten Phase anvisierten Aufgabenspektrum ein dazu passendes Gerätesystem ausgewählt werden. Das muß sehr sorgfältig geschehen. Es ist genauso falsch, für relativ einfache Algorithmen eine überdimensionierte 32-bit-Maschine zu kaufen, wie für rechenintensive Aufgaben und mehrere Bildschirme einen schwächeren 16-bit-Rechner einzusetzen [3]. Die eventuell für Sonderaufgaben notwendigen Hardware und Software-Entwicklungen sind in einem Pflichtenheftentwurf zu beschreiben und kostenmäßig einzuschätzen. Im Ergebnis dessen ist eine Kosten — Nutzen — Analyse möglich.

1.3. *Investitionsentscheid*

Die Gegenüberstellung von Kosten und Gewinn ermöglicht es der Leitung des Betriebes, eine Investitionsentscheidung zu treffen.

1.4. *Spezielle Entwicklungsforderungen*

Nach einer positiven Entscheidung für die Investition und einer exakten und umfangreichen Prozeßanalyse kann nun die Aufgabenstellung formuliert werden für:

— die zusätzliche Hardware-Entwicklung
— die zusätzliche Systemsoftware-Entwicklung
— die Anwendersoftware-Entwicklung

1.5. *Einsatzvorbereitung*

Parallel zu den jetzt laufenden Entwicklungen müssen konzipiert und ausgeführt werden:

— das Aufstellungsprojekt für den Rechner
— die Schulung der künftigen Anwender
— die Kontrolle und wenn nötig die Korrektur der Entwicklungen
— die exakten organisatorischen Abläufe
— Änderung von nicht rechnergerecht gestalteten Normen (TGL oder innerbetriebliche Formblätter) [3].

1.6. *Einführung des CAE-Systems*

In der sechsten und letzten Phase wird die Einführung des CAE-Systems mit Implementierung der Software durchgeführt, wobei mit einer Einlaufzeit von etwa einem Jahr gerechnet werden muß.

2. Auswahl des Gerätesystems

2.1. *Rechner*

Vor der Entscheidung für ein Rechnersystem sollte man sich die Leistungsfähigkeiten der möglichen Geräte auflisten und Wunschvorstellungen mit den käuflichen Geräten in Übereinstimmung bringen. Die Tafel soll eine ungefähre Grobübersicht vermitteln.

2.2. *Bildschirmgeräte*

Bei der Bestellung von grafikfähigen Bildschirmen sollte folgendes beachtet werden:

1. Sind die zu erarbeitenden Zeichnungen vorwiegend
   — symbolisch darzustellen (z. B. Stromlaufpläne, Logikpläne, Kabelpläne, Funktionsschaltpläne, Baugliedpläne), so empfiehlt es sich, genau zu überprüfen, ob die sogenannte Halb- oder Quasigrafik ausreicht, da sie kostengünstiger ist
   — maßlich exakt darzustellen (z. B. Fertigungszeichnungen, Ansichtszeichnungen, Maschinenbauzeichnungen oder Zeichnungen im Bauwesen), so kommen nur vollgrafische Systeme in Frage. Weit verbreitet ist hier das sogenannte Vektordisplay. Es wird aber zunehmend durch Rasterdisplays ersetzt, die von einer Auflösung von 1024 × 1280 Bildpunkten an dem Speicherbildschirm vorzuziehen sind [3].
2. Der Bildschirm sollte flimmerfrei sein.
3. Die Darstellung darf nicht zackig sein.
4. Die Helligkeit sollte regulierbar sein (grünliche oder bläuliche Darstellungen sind der S/W-W/S-Technik auf jeden Fall vorzuziehen).

Tafel. Grobübersicht zu Rechnersystemen

1. Bezeichnung		Mikrorechner, Personalrechner, Büro- und Arbeitsplatzcomputer	Kleinrechner, Minirechner [5]	Superminirechner [5]
2. typ. Vertreter	SW	K 1510/20	A 6401/02	keine produziert
		A 5120/30	SM 4-10/-20	
	(NSW)	(LSI 11 von DEC)	(PDP 11 von DEC)	(VAX 11 von DEC)
		⋮	0,8—1,2 Mill. M	—
3. ungefähre Kosten	SW	50—100 TM	(0,08—0,1 Mill. DM)	(bis 0,4 Mill. DM) [4]
für Hard- und Software	(NSW)	(1—10TDM)		
4. Anzahl d. mgl. BS-Arb.plätze		1	4—5	bis 10
5. Timesharing		nein	ja	ja
6. Hauptspeicherkap.	SW	bis 64 Kbyte	bis 256 Kbyte	—
	(NSW)		(bis 1 Mbyte)	(5—12 Mbyte)
7. Adreßraum		256 byte		
8. passende	SW	Grafikdrucker	64 Kbyte	4 Gbyte
periphere		Seriendrucker	s. Mikrorechner und WP-Speicher	—
Geräte		Digitalisiergeräte	29 Mbyte	
käufliche		Diskettenlaufwerke	KP-Speicher 5 Mbyte	
		Kasettenlaufwerke	Paralleldrucker	
	(NSW)	(s. o. und Plotter Vollgrafik — BS Kasettenplattengeräte 5 Mbyte)	EPG-SM (Vollgrafik) (s. Mikrorechner und WP-Speicher — 600 Mbyte Vollgrafik — BS)	

5. Die Arbeit mit dem Lichtgriffel auf dem Bildschirm ist auf die Dauer ergonomisch ungünstig.
6. Ein Digitalisiergerät zur Realisierung der Menütechnik sollte anschließbar sein.
7. Die Bildrohransteuerung sollte eine möglichst umfangreiche hardwaremäßige Unterstützung bieten.

In diesem Zusammenhang muß darauf hingewiesen werden, daß alle Symbole, Zeichnungsrahmen usw., die ja durch Normen DIN, GOST, TGL oder innerbetriebliche Vorschriften festgelegt sind, auf ihre Verwendbarkeit in CAD zu untersuchen sind und in bezug auf einfache Darstellung und kurze Plottzeiten neu zu überdenken sind. Der langfristig eintretende ökonomische Nutzen ist nicht zu unterschätzen [3]!

2.3. *Speicher*

1. Mit dem Vorliegen der Konzeption zur rechnergestützten Arbeit (erste Phase der Einführung) durch den Anwender muß unbedingt eine Speicherplatzbedarfsanalyse erfolgen. Da die „Speicherung" von Fakten beim Anwender bisher in Form von Listen oder Zeichnungen erfolgte, genügt für ihn die Regel:
— ein α-n-Zeichen entspricht 1 byte
— ein Bildschirminhalt bei halbgrafischen Darstellungen entspricht etwa 1 Kbyte
— ein Bildschirminhalt bei vollgrafischer Darstellung ist ohne Beratung durch den Fachmann nicht ohne weiteres anzugeben. Er bewegt sich je nach Auflösungsgrad zwischen 300 Kbyte und 1600 Kbyte.

2. Nach dieser Abschätzung ist es ratsam, sich darüber klar zu werden, welche Zugriffszeiten benötigt werden, d. h., welche Zeit vergeht vom Anruf bis zur Antwort auf dem Bildschirm. Hier ist wieder eine Abstimmung mit den Fachleuten für Software- und Hardware-Entwicklung unerläßlich. In den meisten Fällen ist der Kauf von Plattenspeichern am sinnvollsten, da nur diese einen schnellen Zugriff zu großen Datenmengen erlauben. Angebotene Geräte in der DDR:

5 Mbyte Kassettenplattengeräte
29 Mbyte Wechselplattengeräte
100 Mbyte Wechselplattengeräte
200 Mbyte Wechselplattengeräte.

International gibt es Geräte bis 600 Mbyte. Aus Zuverlässigkeitsgründen sollten mindestens zwei Geräte beschafft werden [3].
3. Zur Auslagerung selten benötigter Daten, zur Umsortierung vor Ausdrucken und zur Archivierung ist es ratsam, Magnetbandgeräte vorzusehen.
4. Sind noch andere Datenverarbeitungsprozesse vor- oder nachgeschaltet, so muß der dort benutzte Datenträger les- und erzeugbar sein (Kassettenbandgerät, Diskettenlaufwerk, Lochbandeinheit).

2.4. *Zeichengeräte*

Dabei sind zwei wesentliche Aufgabenmöglichkeiten wählbar:

— Plotter der verschiedensten Ausführungen
Merkmal ist eine quasikontinuierliche Darstellung der Linien und Zeilen. Er liefert gute Zeichnungen jeden Formates, ist aber teuer.
— Grafikdrucker
Punktweise Ausgabe einer Zeichnung mit Hilfe eines modifizierten Mosaikdruckers oder Thermodruckers; er liefert für symbolische Darstellungen noch brauchbare Bilder. Die Formate sind begrenzt auf A4- und A3-Darstellungen, er ist aber wesentlich preiswerter als der Plotter.

3. Organisationsformen

Der Anwender muß sich rechtzeitig in der ersten Phase für eine der beiden möglichen Organisationsformen entscheiden, da dadurch die Gerätebestellung beeinflußt wird [3].

3.1. *Schalterbetrieb*

Die Arbeit mit dem CAE-System wird nur von wenigen ausgebildeten Mitarbeitern ausgeführt. Diese erhalten von den Konstrukteuren/Projektanten

— Zeichnungsskizzen
— Eingabeentwürfe
— Analysenaufträge
— Listen.

Das Ergebnis muß dem Entwerfer zur Kontrolle zurückgegeben und von diesem bei kleineren Fehlern korrigiert und ausgeliefert werden. Bei größeren Mängeln erfolgt eine nochmalige Abgabe am Schalter.

Vorteile:
— hohe Auslastung der Arbeitsplätze 6 ... 8 h/Tag
— schon nach wenigen Monaten wird eine konstante hohe Leistung erreicht
— Anzahl der notwendigen Bildschirme ist kleiner als beim offenen Betrieb

Nachteile:
— Entwürfe erfordern zusätzlich Zeit
— ständige Rückfragen beim Bearbeiter sind notwendig
— Änderungen sind organisatorisch schwierig
— sehr intensive und lange Bildschirmarbeitszeit [3].

3.2. *Offener Betrieb*

Jeder Mitarbeiter benutzt das System nach einem Stundenplan. Dabei sollte eine ununterbrochene Arbeitszeit von mindestens drei Stunden garantiert werden.

Vorteile:
— keine Rückfragen notwendig
— keine Entwürfe in gleicher Qualität wie beim Schalterbetrieb notwendig

Nachteile:
— größere Bildschirmanzahl notwendig
— langsames Erreichen des endgültigen Leistungsniveaus [3].

Die Einrichtung eines separaten Raumes für die Bildschirmarbeitsplätze wird im allgemeinen als vorteilhaft angesehen, da hier in der Einlaufphase keine Störung des normalen Produktionsprozesses erfolgt. Außerdem können optimale Arbeitsbedingungen geschaffen werden.

4. Zeichnungs- und Befehlseingabetechniken

4.1. *Arbeit mit Menü*

— Übersichtlich gestaltete austauschbare Menüfelder auf einem Digitalisiergerät sind für die Eingabe am günstigsten.
— Eine weitere Variante ist das Aufblenden eines Menüfeldes auf dem Bildschirm.
— Eine Abwandlung der Menütechnik sind Eingaben mit Hilfe der Funktionstastatur.

4.2. *Befehlsmakrotechnik*

Häufig wiederkehrende Befehls- oder Symbolfolgen werden in einer Datei abgespeichert und können mit einer Befehlseingabe aufgerufen werden.

4.3. *Symboltechnik*

Häufig zu verwendende symbolische Darstellungen werden in einer Symboldatei abgespeichert und nach Bedarf mit Hilfe einer Mnemonik abgerufen und zu einer Zeichnung zusammengefügt [3].

4.4. *Ebenentechnik (Layertechnik)*

Die Zeichnung entsteht durch Übereinanderlegen mehrerer Ebenen (wie Folien) [3]. Dadurch erreicht man besonders gute Änderbarkeit und Konzentration der Arbeit auf ein bestimmtes

Faktum, das als Ebene aus der Zeichnung zur Bearbeitung herausgezogen werden kann. Es findet nur bei vollgrafischen Systemen Anwendung [3].

4.5. *Variantentechnik*

Bildschirmausschriften oder -ausdrucke werden in einen variablen und einen festen Teil getrennt (z. B. Schriftköpfe für Zeichnungen, vorgefertigte Ausrüstungslisten oder Normteile in verschiedenen Größen wie Schrauben usw.). Diese Technik ist komfortabel, da hier nur die Eingabe des variablen Teiles erforderlich ist, um das gewünschte Ergebnis (z. B. Zeichnung von Schrauben einer vorgewählten Größe und Lage) zu erzielen [3].

Zusammenfassung

Vorstehend wurden grundsätzliche Gedanken zur Einführung von CAE-Arbeitsplätzen in der Anlagenautomatisierung dargelegt. Die Arbeiten dazu laufen gemeinsam im VEB GRW Teltow, BT Berlin, im Institut für Elektroanlagen Berlin und dem Industrie-Hochschul-Komplex der Technischen Hochschule Leipzig. Zu gegebener Zeit soll über erste Ergebnisse berichtet werden.

Literatur

[1] Standpunkt zur rechnergestützten Projektierung für die Anlagenautomatisierung (17. Januar 1983). Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA), FA 10, Projektierung.

[2] *Kochan, D.* u. a.: Konzeptionelle Grundgedanken zu durchgängig automatisierten Systemen der Konstruktion, der Fertigungsvorbereitung und der Fertigung in der m. v. I. TU Dresden, Sektion Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen.

[3] *Pham, T. T.*: Erfahrungen mit CAD und der NC-Kopplung. ZwF (1982) 10, S. 453–462.

[4] *Siebert, M.*: Rechnereinsatz in Entwicklungsabteilungen. ZwF (1982) 10, S. 484–486.

[5] Superminicomputer: drastischer Preisverfall und steigendes Angebot erwartet. Blick durch die Wirtschaft. 1. März 1983.

msr 7807

Prof. em. Dr. sc. techn. Dr.-Ing. E. h. *F.-H. Lange*, Rostock

Zur Weiterentwicklung der Korrelationsanalyse, Teil II: Varianten der Kalman-Filterung [1)]

IA 1.1.

Im Teil I war die unterschiedliche Meßstrategie von Korrelationsanalyse und Kalman-Filterung gegenübergestellt worden. Für die letztere sind verschiedene Varianten vorgeschlagen und im Detail ausgearbeitet worden, die nachfolgend näher betrachtet werden sollen.

4. Einteilung der Kalman-Filter zur sequentiellen und rekursiven Zustandsschätzung

Man hat zu unterscheiden:

- Kalman-Filter mit **diskreter** Meßwertverarbeitung
- Kalman-Filter mit **kontinuierlicher** Meßwertverarbeitung.

Die ersteren werden in der Fachliteratur einfach als Kalman-Filter, die zweiten als Kalman-Bucy-Filter bezeichnet. Für den praktischen Einsatz eignen sich die diskreten Kalman-Filter besser, weil sie unmittelbar für die Computerberechnung und für die Mikroprozessoren geeignet sind. Außerdem bieten die zeitdiskreten Filter mathematisch geringere Schwierigkeiten. Deswegen sollen die Betrachtungen auf die erste Gruppe beschränkt bleiben.
Ferner kann man unterscheiden:

- lineare Filter
- nichtlineare Filter.

Der Unterschied ergibt sich aus den Eigenschaften des Meßobjektes. Wenn es durch ein lineares dynamisches Modell nachgebildet werden kann, dann ist auch das Filter selbst linear, weil es eine lineare Systemnachbildung enthalten muß. Im Teil I wurde die lineare Kalman-Filterung besprochen.
Wenn dagegen das Meßobjekt durch ein nichtlineares Modell nachgebildet wird, dann ist das Filter selbst nicht linear, aus dem gleichen Grunde wie oben. Die nichtlinearen Filter werden auch als Kushner-Stratonowitch-Filter bezeichnet.
Zwischen diesen beiden Filtertypen gibt es folgenden wesentlichen Unterschied: beim linearen Kalman-Filter wird das Meßobjekt in seinem dynamischen Verhalten modelliert, also durch eine Differentialgleichung oder durch eine Differenzengleichung beschrieben, die bei diskreter Darstellung als Systemmatrix erscheint. Als unabhängige Variable werden die Meßamplitude oder der Meßvektor als Zustandsvektor benutzt. Dies bedeutet, daß die Prozeßrealisierung, die Musterfunktion, analysiert wird, nicht der Prozeßtyp allgemein.
Eine ganz andere Situation wird mit einem nichtlinearen Filter untersucht. Hier handelt es sich um den Fall, daß kein determiniertes, wenn auch gestörtes, Systemverhalten angenommen werden kann. Es liegt ein stochastischer Prozeß als Meßvorgang vor. Die Beschreibung kann hier nur anhand des übergeordneten Prozeßtyps erfolgen, für den nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich sind. An die Stelle des Systemverhaltens tritt ein Signalverhalten, und anstelle der Systemmodellierung wird eine Signal- oder Prozeßmodellierung vorgenommen. Dabei wird nicht das Zeitverhalten der Meßamplitude oder des Zustandsvektors untersucht, sondern das **Zeitverhalten der bedingten Wahrscheinlichkeitsdichte.** Diese bezieht sich auf einen determinierten Anfangszustand als Beginn des Vorganges, auf den Bezug genommen wird. Dies kann u. a. der letzte zeitdiskrete Meßpunkt sein. Das ist zugleich der Grund für den engen Zusammenhang zwischen der nichtlinearen Filtertheorie und der Theorie der Markov-Prozesse, die in ähnlicher Weise modelliert werden.
Die nichtlineare Filterung benötigte eine Theorie der zeitvariablen statistischen Kenngrößen, eine **Theorie der Zeitabhängigkeit der Prozeßstatistik.** Hier hat besonders *Stratonowitch* am Anfang der sechziger Jahre, bereits vor den Veröffentlichungen von *Kalman*, wertvolle Vorarbeit geleistet, die später von *Kushner* in wichtigen Punkten verbessert oder ergänzt worden ist. Der Begriff **Nichtlinearität** kommt zwangsläufig hierbei auf, weil die Amplitudenverteilungsfunktionen nichtlinear von der Amplitude abhängen, wie z. B. bei der Gaußschen Normalverteilung mit exponentieller Abhängigkeit.
Ebenso wie die Physiker im vergangenen Jahrhundert bereits für die Zustandsbeschreibung durch die Phasenraumdarstellung wertvolle Vorarbeit geleistet haben, so kann die Theorie der nichtlinearen Filterung ebenfalls auf wichtige ältere Arbeiten aus dem Anfang dieses Jahrhunderts zurückgreifen: physikalisch auf die Theorie der Brownschen Bewegung (*Einstein* 1905) und

---

[1)] Teil I erschien im **Heft** 11/1983.

auf die Theorie der Gasdynamik (*Fokker-Planck* 1917) sowie mathematisch auf die Theorie der Markov-Prozesse (*Markov* um 1910). Dadurch ist die Informationstheorie, insbesondere die Meßstochastik, durch eine Fülle neuer Gedanken und Begriffe bereichert worden. Es ist bemerkenswert, daß hierbei die spektrale Darstellung zumindestens für die Nutzsignale völlig ausscheidet und damit auch wesentliche Teile der Wiener-Chintchinschen Theorie der stochastischen Vorgänge.

Die Theorie der Markov-Prozesse enthält stets die Voraussetzung, daß ein bestimmter Anfangszustand die weitere Entwicklung bestimmt und **nicht** noch die davorliegende Vergangenheit des Prozesses. Der weitere Prozeßverlauf wird entweder durch Verbundwahrscheinlichkeiten oder durch bedingte Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktionen beschrieben. Diese Möglichkeit ergibt sich durch die Zustandsbeschreibung aus der Tatsache, daß die Zustandsgleichung eine Differential- oder Differenzengleichung 1. Ordnung ist. Zur Lösung genügt bekanntlich die Kenntnis des Anfangswertes, und es wird nicht noch die Kenntnis vorangegangener Werte gefordert. Da allerdings im betrachteten Fall keine determinierten Zeitfunktionen analysiert werden, muß man hier die Theorie der stochastischen Differentialgleichungen [18] heranziehen.

Die Zustandsbeschreibung führt somit einen Nicht-Markov-Prozeß einer Meßobservablen in einen Markov-Prozeß des Zustandsvektors über. Bei einer technisch-physikalischen Interpretation der Methode darf man also nicht etwa dem Meßprozeß selbst einen Markov-Prozeß-Charakter zuordnen, der gilt nur für den Zustandsvektor.

5. Quantitative Beschreibung stochastischer Meßprozesse mit zeitabhängiger Wahrscheinlichkeitsverteilung

Die statistische Gesetzmäßigkeit instationärer Prozesse besteht in einer Gesetzmäßigkeit der Zeitabhängigkeit der Verteilungsdichte, genauer gesagt, der bedingten Wahrscheinlichkeitsverteilungsdichte, die von einem definierten Anfangszustand ausgeht.

Hierfür liefert die Physik ein anschauliches Beispiel aus der Gasdynamik in Form eines Diffusionsprozesses. Für ihn gilt die partielle Differentialgleichung:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D\,\frac{\partial^2 N}{\partial x^2}\,.$$

t Zeitkoordinate, x Ortskoordinate, D Driftkoeffizient, N Teilchenzahl je cm^3

Hier liegt also eine echte physikalische Meßgröße in Form von $N(x, t)$ vor. Nun ist N der Wahrscheinlichkeit proportional, da die Teilchenzahl statistisch schwankt und N nur einen statistischen Mittelwert darstellt. Man kann daher die Diffusionsgleichung auch in der allgemeineren Form schreiben:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = D\,\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}\,; \qquad p = p(x, t)\,.$$

Nimmt man noch für einen Ausgleichsprozeß die sogenannte Drift hinzu, so erhält man die **Fokker-Planck-Gleichung:**

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(K_1 p) + \frac{1}{2}\,\frac{\partial^2}{\partial x^2}(K_2 p) \quad \text{mit} \quad p = p(x, t)$$

mit

$$K_1 = \frac{\partial}{\partial t}\,E\{x\} \quad \text{als Driftkoeffizient}$$

und

$$K_2 = \frac{\partial}{\partial t^2}\,\{\sigma_x^2\} \quad \text{als Diffusionskoeffizient}\,.$$

σ_x^2 ist die Varianz von x.

Die Koeffizienten K_1 und K_2 werden auch als Intensitätskoeffizienten bezeichnet. Damit wird eine bestimmte Form von Zeit- und Ortsabhängigkeit der Gasdichte in der Gasdynamik beschrieben.

Man beachte, daß diese Analysenmethode keine Verbindung zur Korrelationsanalyse hat. Sie beruht auf anderen statistischen Kenngrößen, und zwar infolge anderer A-priori-Annahmen.

Man kann das Zeitverhalten einer Wahrscheinlichkeitsverteilung ganz allgemein durch eine Reihenentwicklung darstellen. Es gilt:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!}\,\frac{\partial^k}{\partial x^k}(K_k p) \quad \text{mit} \quad p = p(x, t/x_0, t_0)$$

$p(x, t/x_0, t_0)$ ist die bedingte Wahrscheinlichkeitsdichte für die Amplitude x_t zur Zeit t, falls die Amplitude x_0 zur Zeit t_0 den Prozeß eingeleitet hat.

Die Beschränkung der Prozeßbeschreibung auf die beiden ersten Intensitätskoeffizienten K_1 und K_2 stellt eine Verwandtschaft der Normalverteilung dar, die auch allein durch die ersten beiden Momente beschrieben wird. Hier bedeutet der Koeffizient K_k die zeitliche Änderungsgeschwindigkeit des k-ten Moments.

$$K_k(x, t) = \lim_{\Delta t \to 0} E\left\{\frac{[x(t + \Delta t) - x(t)]^k}{\Delta t}\right\}.$$

Es ist zweckmäßig, sich ein typisches Zeitverhalten der Wahrscheinlichkeitsdichte eines stochastischen Prozesses zu veranschaulichen. Hierzu dient Bild 4. Es zeigt die Verteilungsdichte für drei Zeitpunkte t_0, t_1 und t_2 für eine Normalverteilung.

Im Anfangszeitpunkt t_0 wird eine bestimmte Amplitude x_{t_0} beobachtet. Sie stellt eine determinierte Größe dar und ergibt als Wahrscheinlichkeitsdichte einen Dirac-Impuls: $p(x_{t_0}) = \delta(x - x_{t_0})$ mit der Impulsfläche 1 entsprechend der Wahrscheinlichkeit 1 und der Wahrscheinlichkeitsdichte $p(x) = \infty$ für $x = x_{t_0}$. Hier ist $\sigma_0 = 0$.

Nach einer gewissen Zeitspanne $t_1 - t_0$ besteht die Wahrscheinlichkeit, daß der Wert x_{t_1} in der Umgebung von x_{t_0} liegt, dies ergibt eine Normalverteilung mit der Streuung $\sigma_1 > \sigma_0 = 0$. Nach einer weiteren Zeit $t = t_2$ verbreitert sich die Normalverteilung auf eine Streuung $\sigma_2 > \sigma_1 > \sigma_0 = 0$. Für einen derartigen Prozeßtyp ist die Eigenschaft charakteristisch, daß die Streuung σ und damit auch die Varianz σ^2 zeitabhängig sind, und zwar mit der Zeit anwachsen. Wie Bild 4 zeigt, nimmt bei dieser Lösung der Fokker-Planck-Gleichung die Gleichkomponente, d. h. der lineare Erwartungswert, mit der Zeit ab: $E\{x\} \to 0$. Dies ist der Schätzwert mit der größten Wahrscheinlichkeitsdichte. Nach einer gewissen Zeit geht er gegen Null.

Einen derartigen Prozeß entdeckte ***Einstein*** 1905 bei der Analyse der Brownschen Bewegung. Er gab folgende Gleichung an:

$$\overline{(\Delta x)^2} = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{3\pi r \eta}\,\Delta t\,.$$

R Gaskonstante, T absolute Temperatur, N Avogadro-Konstante, η Reibungskoeffizient, r Teilchenradius, Δt Zeitintervall

Die Aussage lautet, daß die Varianz der Entfernung vom Ausgangspunkt linear mit der Zeit anwächst. ***Wiener*** hat die Brownsche Bewegung 1930 in Verbindung mit dem Ausbau seiner

Bild 4. Zeitliche Entfaltung eines Markov-Prozesses mit Normalverteilung (schematisch)
$p(x/x_0)$ bedingte Wahrscheinlichkeitsdichte,
$\sigma^2(x)$ wächst an, $E(x)$ nimmt ab } mit Δt

Theorie der verallgemeinerten harmonischen Analyse weiter erforscht.
Man erkennt, daß die Physik interessante physikalische Prozesse als Modelle anbietet, die von der Filtertheorie abstrahiert wurden, d. h., sie werden auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen angewendet, die physikalisch nicht unmittelbar stofflichen Kenngrößen entsprechen.
Die nichtlineare Filterung analysiert vorwiegend zeitkontinuierliche Prozesse. Dabei stieß man auf grundsätzliche mathematische Schwierigkeiten, die zur Einführung neuer Begriffe führten. So arbeitete *Wiener* mit dem Integral $\beta(t) = \int w(t)\,\mathrm{d}t$, wobei $w(t)$ das weiße Rauschen als Störprozeß bedeutet. Umgekehrt gilt also: $w(t) = \frac{\mathrm{d}\beta(t)}{\mathrm{d}t}$ mit $\beta(t)$ als **Wiener-Prozeß.** Das weiße Rauschen ergibt sich als Ableitung des Wiener-Prozesses. Man kann zeigen, daß der Wiener-Prozeß ebenfalls normalverteilt ist wie das Gaußsche Rauschen, außerdem aber noch die Eigenschaft eines Markov-Prozesses hat. Er wird daher als Gauß-Markov-Prozeß bezeichnet, ein wichtiges Modell für die nichtlineare Filtertheorie. Ferner hat der Japaner *Itô* 1965 den Brownschen Bewegungsprozeß mathematisch weiter untersucht. Er benutzte seine 1944 aufgestellte **Theorie stochastischer Integrale.** Bisher hatte *Wiener* stochastische Integrale seines Wiener-Prozesses mit determinierten Systemfunktionen $G(\omega)$ in der Form:

$$I(\omega) = \int_{t_0}^{t} G[x(\tau;\omega)]\,\mathrm{d}\beta(\tau;\omega)$$

untersucht.
Wenn man in der Filtertheorie zu zufälligen Funktionen $G(\tau;\omega)$ statistischer Systemmodelle übergeht, müssen Grundbegriffe wie Linearität, Erwartungswert, Varianz und Kovarianz verallgemeinert werden. Sie stellen die wesentlichen Eigenschaften des **Itô-Integrals** dar. Es zeigt sich, daß die für die Kovarianzmatrix benötigten Momente des Itô-Integrals sich auf einfache Weise bestimmen lassen; das ist eine wesentliche Motivation zur Verwendung dieses Integralbegriffes bei nichtlinearen Filterproblemen [14].

6. Bemerkungen zur Lösung des nichtlinearen Filterproblems

Es wird auch weiterhin das Problem betrachtet, Nutzinformationen aus störungsbehafteten Messungen herauszufiltern. Dabei wird das Kalmansche Grundprinzip angewendet, die Messungen mit den extrapolierten Schätzwerten zu vergleichen und einen geeigneten Mittelwert unter Berücksichtigung der Größe der nur statistisch definierten Extrapolations- und Meßfehler zu finden. Der Wiener-Prozeß dient als Modell für die stochastische Anregung und für die Störungen des untersuchten Systems.
Es wird bei der nichtlinearen Filterung ein Signalprozeß untersucht. Dieser wird durch eine stochastische Differentialgleichung vom Diffusionstyp beschrieben. Sie wird als Itôsche Differentialgleichung bezeichnet. Die mathematische Modellierung wird durch die Annahme eines Markov-Prozesses in Zustandsraumdarstellung für den Signalprozeß realisiert. Die Begründung dazu wurde oben bereits gegeben. Der Zustand eines stochastischen Prozesses wird durch den zeitlichen Verlauf seiner Verteilungsdichtefunktion bestimmt. Es werden also die Gleichungen für die zeitliche Entwicklung dieser Dichten benötigt.
Man benutzt dazu die Theorie des Diffusionsvorganges, für die *Langevin* 1908 folgende Gleichung aufstellte, die als **Langevin-Gleichung** bezeichnet wird:

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = f[\boldsymbol{x}(t), t] + \boldsymbol{G}[\boldsymbol{x}(t), t]\,\boldsymbol{w}(t) \quad \text{für} \quad t \geqq t_0 .$$

Die Funktion $f[\boldsymbol{x}(t), t]$ ist nichtlinear, d. h., auch im ungestörten Zustand $\boldsymbol{w}(t) = 0$ hängt die zeitliche Änderung $\dot{\boldsymbol{x}}(t)$ des Zustandsvektors nicht mehr linear von $\boldsymbol{x}$ ab.
Die Störungsfunktion $\boldsymbol{G}$ wird als Werteprodukt und z. B. nicht als Faltungsprodukt mit der Störung $\boldsymbol{w}(t)$ verknüpft, d. h., die Störung wirkt ohne Gedächtnis (Nachwirkung) auf den Prozeß ein. Die Richtigkeit einer derartigen Modellbildung muß bei der Einbeziehung in die Informationstechnik erst bewiesen werden. Leider wird der Ansatz oft ohne Begründung übernommen.
Stellt man die Störeinwirkung als Wiener-Prozeß $\beta(t)$ dar, so lautet die Zustandsgleichung in differentieller Form:

$$\mathrm{d}\boldsymbol{x}(t) = f(\boldsymbol{x}, t)\,\mathrm{d}t + G(\boldsymbol{x}, t)\,\mathrm{d}\beta(t) .$$

Die Meßgleichung erscheint hier in der Form:

$$\boldsymbol{y}(t) = \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}, t) + \boldsymbol{v}(t) \quad \text{mit} \quad \boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}(t) .$$

Durch den Ansatz $\boldsymbol{v}(t) = \frac{\mathrm{d}\eta(t)}{\mathrm{d}t}$ wird für die Meßstörung ein Wiener-Prozeß $\eta(t)$ eingeführt, und die Meßgleichung lautet dann:

$$\mathrm{d}\boldsymbol{z}(t) = \boldsymbol{h}[\boldsymbol{x}(t), t] + \mathrm{d}\eta(t)$$

Hierbei ist definiert: $\boldsymbol{y}(t) = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{z}(t)}{\mathrm{d}t}$, womit auch der Meßvorgang durch einen Wiener-Prozeß ersetzt wird.
Damit sind formell die Gleichungen des Systemmodells aufgestellt.
Die bisherigen Ansätze gelten für die beobachtete Prozeßrealisierung. Die nichtlineare Filtertheorie hat in diesem Punkt das ursprüngliche Konzept von *Kalman* der Zustandsbeschreibung abgeändert und geht von der Prozeßrealisierung zum Ensemble dieser Musterfunktionen, also zum Prozeßtyp selbst über. Dies bedeutet, daß **nicht der Zustand selbst, sondern die Wahrscheinlichkeit des Zustandes ermittelt werden soll.**
Es muß demnach eine partielle Differentialgleichung für die zeitliche Entwicklung der bedingten Verteilungsdichte des Zustandes $\boldsymbol{x}(t)$ gültig für den Anfangszustand $\boldsymbol{x}(t_0)$ als Umformung der Zustandsgleichung aufgestellt werden. Die bedingte Dichte $p[\boldsymbol{x}(t), t/\boldsymbol{x}(t_0), t_0]$ beschreibt den stochastischen Prozeß $\boldsymbol{x}(t)$ vollständig, da dieser die Markov-Eigenschaft hat [14].
Das Ziel der hieran anschließenden Berechnungen besteht darin, die Zeitabhängigkeit der A-posteriori-Wahrscheinlichkeits-Verteilung des Prozesses unter Einbeziehung der vorgenommenen Messungen zu ermitteln, wobei die Messungen selbst durch das Meßrauschen als normalverteilte Störungen verfälscht sind.
Eine Änderung der Verteilungsdichte tritt aus zwei verschiedenen Ursachen auf. Erstens durch die Prozeßdynamik $\mathrm{d}p_{\mathrm{dyn}}$, und zweitens durch die Messung $\mathrm{d}p_{\mathrm{mess}}$. Es gilt also:

$$\mathrm{d}p = \mathrm{d}p_{\mathrm{dyn}} + \mathrm{d}p_{\mathrm{mess}} .$$

Die Addition entspricht der ODER-Regel, da die Modellbildung und die Messung voneinander unabhängig sind.
Der dynamische Anteil der Änderung der Verteilungsdichte wird durch die verallgemeinerte Fokker-Planck-Gleichung (s. o.) dargestellt:

$$\mathrm{d}p_{\mathrm{dyn}} = -\sum_{i=1}^{n} \frac{\partial(pf_i)}{\partial x_i}\,\mathrm{d}t + \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{n} \frac{\partial^2[p(\boldsymbol{GQG}^T)_{ij}]}{\partial x_i\,\partial x_j} .$$

Dabei ist f_i die i-te Komponente des Vektors $\boldsymbol{f}$.
$(\boldsymbol{GQG}^T)_{ij}$ ist das Element der i-ten Zeile und j-ten Spalte der Matrix $\boldsymbol{GQG}^T$. Die Anzahl n der Glieder der Reihenentwicklung ist durch die Komponenten des Zustandsvektors festgelegt. Es kommt der zweite Anteil, der von der Messung abhängt, hinzu (Grundprinzip von *Kalman*).
Nach sehr umfangreichen Rechnungen erhält man unter der Annahme eines Wiener-Prozesses als Meßprozeß [1]:

$$\mathrm{d}p_{\mathrm{mess}} = [\boldsymbol{h}^T(\boldsymbol{x}, t) - \hat{\boldsymbol{h}}^T(\boldsymbol{x}, t)] \cdot \boldsymbol{R}^{-1} \cdot \{\mathrm{d}\boldsymbol{z}(t) - \hat{\boldsymbol{h}}(\boldsymbol{x}, t)\,\mathrm{d}t\} \times \times\, p[\boldsymbol{x}, t/\boldsymbol{z}_t] .$$

$\boldsymbol{R}$ bedeutet hier wieder die Kovarianzmatrix des Meßrauschens. $\mathrm{d}p_{\mathrm{dyn}} + \mathrm{d}p_{\mathrm{mess}}$ ergeben zusammen die differentielle Änderung der Verteilungsdichte im Zeitintervall $\mathrm{d}t$.

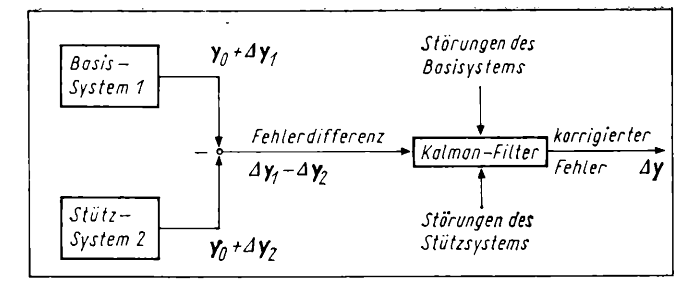


Bild 5. Schema eines Hybridsystems mit linearer Kalman-Filterung

Dies ist das sogenannte Kushner-Stratonowitch-Gleichungssystem. Die Werte von f_1 und G sind der Zustandsgleichung des Prozesses zu entnehmen. Die Matrizen R und Q enthalten die Kovarianzen des Meßrauschens und des Systemrauschens.
Erst durch die Benutzung der Mikrorechner ist es möglich geworden, derartig umfangreiche und schwierige Berechnungen während eines schnell veränderlichen Prozesses durchzuführen. Das Hauptproblem ist die Übereinstimmung der A-priori-Annahmen mit der Realität. Anwendungen in der Navigationstechnik sind erfolgreich verlaufen. Zur Zeit beginnt man, diese anspruchsvolle Filterungsmethode in der industriellen Prozeßanalyse anzuwenden, z. B. in der Kernkrafttechnik. Die dabei erreichten Erfolge werden darüber entscheiden, ob sich die Meßgenauigkeiten durch die Anwendung der modernen Theorie der Meßstochastik in der Tat erhöhen lassen oder nicht.
Darüber hinaus eignet sich die Theorie der nichtlinearen Filterung auch für die Synthese von Nachrichten-Vermittlungs-Systemen [21]

7. Hybridmethode der linearen Filterung

Mindestens das gleiche Interesse verdient eine Variante der linearen Kalman-Filterung, die nachfolgend kurz beschrieben werden soll.
Während bei dem oben beschriebenen Kalman-Verfahren mit linearer oder mit nichtlinearer Systemdarstellung stets der extrapolierte Schätzwert mit dem momentanen Meßwert verglichen wird, werden bei der Hybridmethode **zwei** verschiedenartige Meßsysteme miteinander verglichen. Ein derartiges Meßsystem wird als Hybridsystem oder als **integriertes Meßsystem** bezeichnet [16] bis [18]. Das System wurde von der IHS Warnemünde auf seine Tauglichkeit eingehend untersucht und seine Brauchbarkeit bestätigt [15].
Wesentlich ist dabei folgendes:
Gemäß Bild 5 existiert ein Basis-Meßsystem und ein Stützsystem, die an sich gleichwertig sind, z. B. ein Koppelnavigationssystem und ein Deccanavigationssystem. Es ist zweckmäßig, Systeme in recht unterschiedlichen Frequenzbereichen auszuwählen, damit die Fehlerquellen nicht zu stark korreliert sind. Beim oben genannten Beispiel handelt es sich bei der Koppelnavigation um ein niederfrequentes und bei der Decca-navigation um ein hochfrequentes Meßsystem, und damit entspricht das Hybridsystem dieser Anforderung. Es wird die Differenz beider Meßwerte als Eingangssignal in ein lineares Kalman-Filter eingegeben, wobei vorher eine Umrechnung auf ein einheitliches Koordinatensystem vorgenommen werden muß. Daher ergeben sich je nach der Koordinatenwahl zwei mögliche **Simulationsmodelle**.
Wenn $\boldsymbol{y}_0$ der richtige Meßvektor ist und $\Delta \boldsymbol{y}_1$ und $\Delta \boldsymbol{y}_2$ die beiden Fehler der Meßsysteme 1 und 2, so entfällt bei der Differenzbildung der Wert von $\boldsymbol{y}_0$ und es wird das Kalman-Filter von der Fehlerdifferenz ($\Delta \boldsymbol{y}_1 - \Delta \boldsymbol{y}_2$) ausgesteuert. Dies wiederum bedeutet, daß außer der Messung keine Voraussage (= Extrapolation) des Meßwertes vorgenommen wird, sondern es wird eine **Voraussage der Meßfehler** vorgenommen und daraus ein **Schätzwert des Gesamtfehlers** gebildet. Dies ist der wesentliche Unterschied gegenüber dem einfachen Kalman-Verfahren mit einem einzigen Meßsystem.

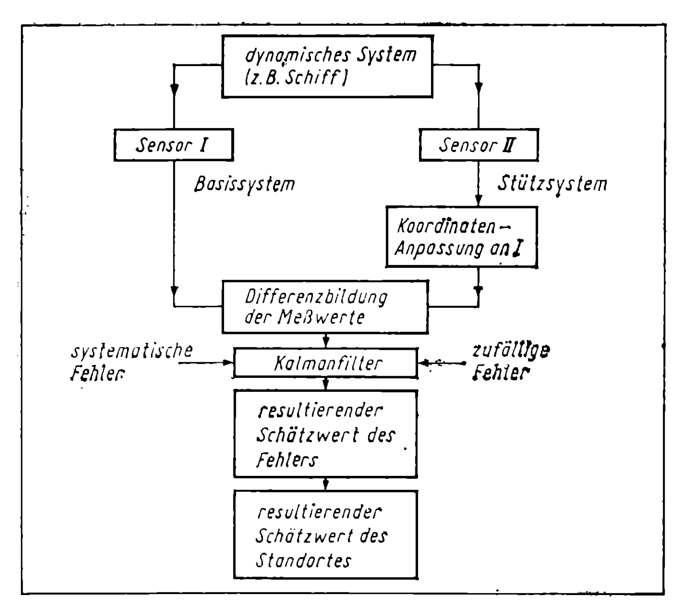


Bild 6. Schema eines hybriden Navigationssytem mit Kalman-Filterung

Bei der Wichtung durch den Korrekturfaktor K (s. o.) wird jeweils der Fehleranteil geringer bewertet, der von den größeren Störungen herrührt.
Beim einfachen Kalman-Verfahren werden die Systemstörungen gegen die Meßstörungen abgewogen. Dieses Grundprinzip wird in folgender Form auch hier übernommen.
Zunächst sind die möglichst unterschiedlichen Störungen des Basissystems von denen des Stützsystems zu unterscheiden. Diese wiederum sind zu unterteilen in **systematische Fehler** und in **zufällige Fehler**. Die systematischen Fehler werden vom Systemverhalten des Meßobjekts (Systemmatrix) beeinflußt. Es wird bei der Extrapolation angenommen, daß die Systemfehler sich nach dem gleichen Gesetz verändern wie der Zustandsvektor des Systems selbst. Diese **Fehleränderungen** sind also determiniert. Dazu kommen als Begleiterscheinung der Messung die zufälligen Meßfehler, das Meßrauschen.
Der Unterschied des Hybridsystems gegenüber dem einfachen Meßsystem besteht also darin, daß hier die Fehleränderungen untersucht und berücksichtigt werden, beim einfachen System aber die Fehler selbst. Bild 6 zeigt diese Konzeption.
Da das Hybridverfahren viel einfacher zu übersehen ist als das nichtlineare Filterverfahren und mathematisch einfacher ist und da schließlich die A-priori-Annahmen sicherer sind, so verdient das Hybridverfahren für weitere Anwendungen in der Meßtechnik in all den Fällen Beachtung, wo eine Messung durch zwei unterschiedliche Sensoren möglich ist. Also ist auch hier eine Anwendung in der Prozeßmeßtechnik noch zu erwarten!

Literatur

[14] *Krebs, W.:* Nichtlineare Filterung. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1980.
[15] *Lobaina, A. L.:* Simulationsmodell der optimalen Informationsverarbeitung in automatisierten Navigationssystemen. Dissertation A. IHS für Seefahrt Warnemünde 1981.
[16] *Beggerud, A.:* Integrated navigation applied to surveying and pipelying. Proceedings of the IFAC/IFIP Symposium "Automation in offshore oild field operation". Bergen/Norwegen 1976, S. 245–251.
[17] *Dove, M. J.:* Kalman-Filter-Techniques in Marine Integrated Systems. Journal Navigation, London 30 (1977) S. 135–145.

(Fortsetzung auf Seite 706 unten)

Dipl.-Ing. *P. Krämer*, Zittau[1])

Nachbildung von Beobachterstrukturen voller Ordnung für kraftwerkstypische Mehrgrößenprobleme der Energiewirtschaft

IA 5.5.4.

0. Einleitung

Eine zukünftige effektivere Beherrschung sich weltweit bemerkbar machender kritischer Energiesituationen erfordert bei ständiger Analyse globaler Entwicklungstendenzen eine konsequente Effizienzerhöhung von Wissenschaft und Technik. Das bedeutet, Umfang und Struktur der Energiewirtschaft so zu entwickeln, daß der gesellschaftliche Aufwand für Energiebereitstellung und Energieanwendung minimiert wird. Sich damit ergebende Innovationsprozesse sind vielfach untersetzt durch ökonomische und technisch-organisatorische Forderungen.

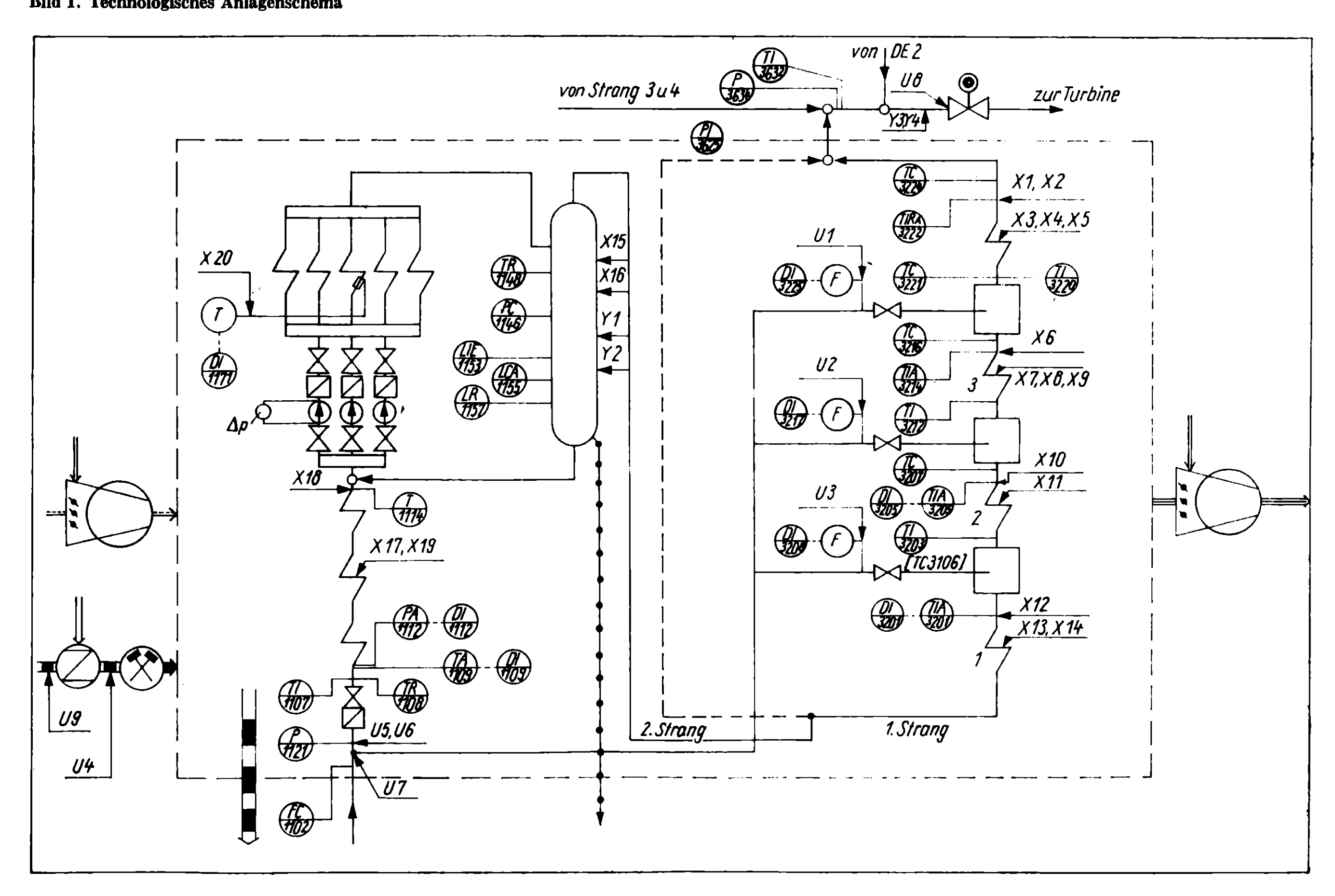
Für die Wirtschaft der DDR ist dabei eine bedarfsgerechte und kontinuierliche Bereitstellung bestimmter Energieleistungen sowie die verantwortungsbewußte Umstellung der Dampferzeuger auf einheimische Rohstoffe von ausschlaggebender Bedeutung. Davon ausgehend sind gleichzeitig bestimmte Anforderungen an die Qualität des Endproduktes, an die Sicherheit des technologischen Prozesses sowie an den Wirkungsgrad dieser Anlagen zu stellen und einzuhalten. Leistungsfähige Verfahren zur Regelung und Überwachung derartiger technischer Prozesse haben Mehrgrößencharakter und basieren größtenteils auf der Konzeption des Zustandsraumes. Eine optimale Verwirklichung dieser Konzeption setzt voraus, daß entweder alle Komponenten des Zustandsvektors bekannt oder in brauchbarer rekonstruierter Form verfügbar sind. Systeme, die diese Rekonstruktion

[1]) Mitteilung aus der IH Zittau, Sektion Kraftwerksanlagen und Energieumwandlung.

Tafel 1. Zuordnung der Prozeßgrößen

Größe	Bedeutung
Zustandsgrößen:	
x 1	Dampfdichte nach HD 4
x 2	Dampfenthalpie nach HD 4
x 3	Dampfenthalpie im HD 4
x 4	Dampfenthalpie im HD 4
x 5	Dampfenthalpie im HD 4
x 6	Dampfenthalpie nach HD 3
x 7	Dampfenthalpie im HD 3
x 8	Dampfenthalpie im HD 3
x 9	Dampfenthalpie im HD 3
*x*10	Dampfenthalpie nach HD 2
*x*11	Dampfenthalpie im HD 2
*x*12	Dampfenthalpie nach HD 1
*x*13	Dampfenthalpie im HD 1
*x*14	Dampfenthalpie im HD 1
*x*15	Wasservolumen im Separator
*x*16	Dampdichte im Separator
*x*17	Wasserenthalpie im Eco
*x*18	Wasserenthalpie nach Eco
*x*19	Wasserenthalpie im Eco
*x*20	Rohrwandtemperatur des Verdampfers
Eingangsgrößen:	
u 1	Massenstrom Feineinspritzung
u 2	Massenstrom Grobeinspritzung
u 3	Massenstrom Grundeinspritzung
u 4	Brennstoffstrom
u 5	Speisewasserstrom
u 6	Enthalpie Speisewasser (Eintritt Eco)
u 7	Enthalpie Einspritzwasser
u 8	freier Querschnitt Turbinen – RV
u 9	unterer Heizwert des Brennstoffs

Bild 1. Technologisches Anlagenschema



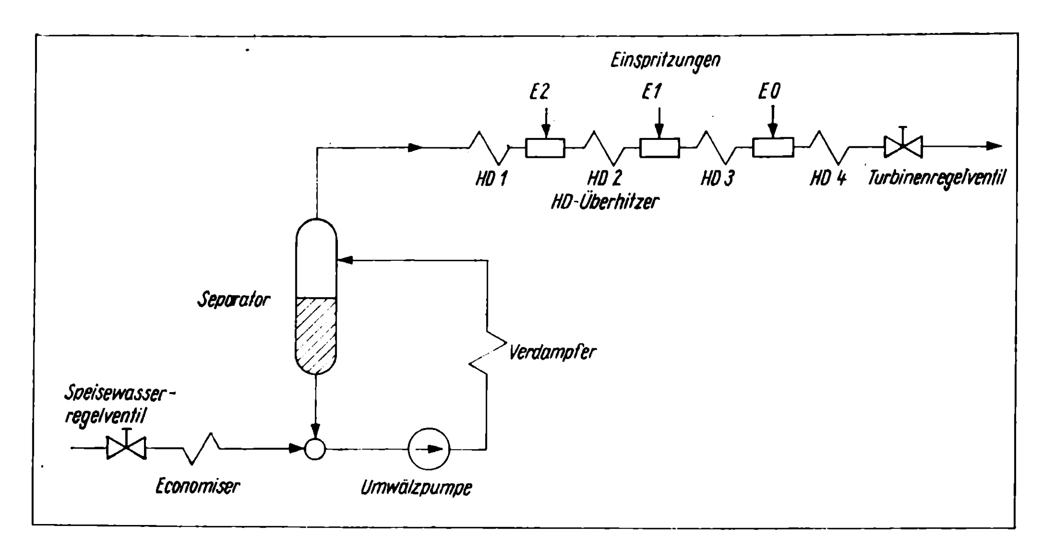
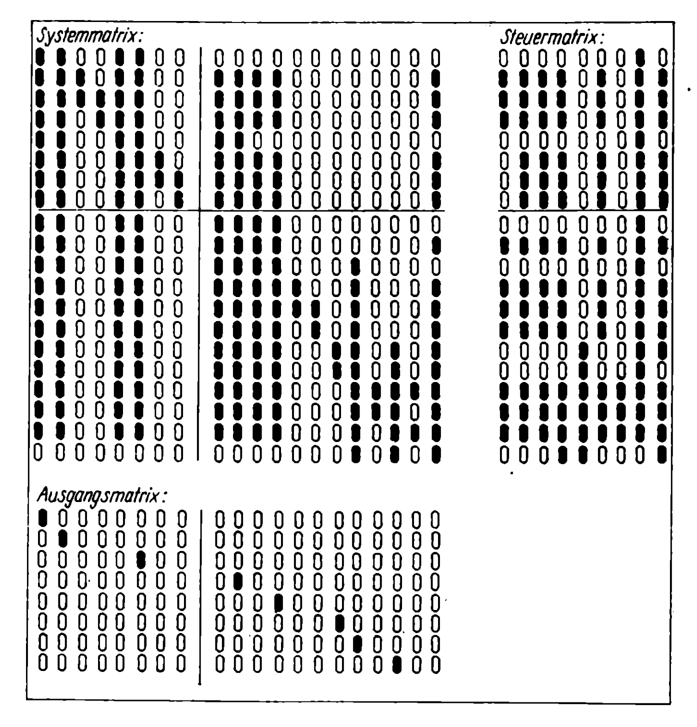


Bild 2. Übersichtsvereinfachung von Bild 1

Bild 3. Zustandsraumgerechte Darstellung von Bild 1

Bild 4. System (1) in Mustermatrizenform



leisten, sogenannte Zustandsbeobachter oder Zustandsschätzer reduzierter bzw. voller Ordnung, sind nach unterschiedlichsten Gesichtspunkten entwerfbar. Zweckmäßigerweise werden diese Beobachter einmal berechnet und im weiteren nachgebildet. Der Beitrag gibt einen Einblick in den Nachbildungsprozeß für eine kraftwerkstypische Problemstellung.

1. Nachbildungsprozeß

Die Darstellung des Nachbildungsprozesses erfolgt für den Wasser-Dampf-Trakt eines Zwangsdurchlaufdampferzeugers mit überlagertem Umlauf. Ausgehend vom technologischen Anlagenschema sowie der daraus entwickelten Übersichtsvereinfachung erfolgt die zustandsraumgerechte Prozeßformulierung (Bilder 1 bis 3). Die in Tafel 1 ausgewiesenen Prozeßgrößen dienen der Problemkodierung. Der Nachbildungsprozeß selbst erfolgt auf der Grundlage des in folgender Form vorliegenden linearen zeitinvarianten dynamischen Systems

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}}(t) &= \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t) \\ \boldsymbol{y}(t) &= \boldsymbol{H}\boldsymbol{x}(t)\,. \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Für das oben erwähnte kraftwerksspezifische Mehrgrößenproblem sind dabei Systemmatrizen $\boldsymbol{A}$, wie in Tafel 2 angegeben, keinesfall untypisch. Zur Detailerkennung bei der Beobachter-

Tafel 2. Systemmatrix A mit von Null verschiedenen Elementen

Systemmatrix A:

Element	Wert	Element	Wert	Element	Wert	Element	Wert
A(1,1) =	−9,0860	A (6,12) =	2,1548−05	A(12,1) =	−2,6542−01	A(16,6) =	−3,9172−02
A(1,2) =	−1,3883	A (6,20) =	1,9477−04	A(12,2) =	−4,1739−02	A(16,9) =	−3,3127−02
A(1,5) =	7,6420	A (7,1) =	−4,7421−01	A(12,5) =	4,3132−01	A(16,10) =	−9,2907−03
A(1,6) =	1,4419	A (7,2) =	−7,4979−02	A(12,6) =	8,2084−02	A(16,11) =	1,7972
A(2,1) =	2,4148−02	A (7,5) =	1,0736	A(12,9) =	3,2841−02	A(16 12) =	6,2004−01
A(2,2) =	−4,5966−02	A (7,6) =	2,0541−01	A(12,10) =	9,8448−03	A(16 15) =	7,5021−03
A(2,3) =	4,9166−02	A (7,7) =	−6,6239−02	A(12,11) =	−1,2238−01	A(16 16) =	−4,5447−01
A(2,5) =	−3,0301−02	A (7,8) =	6,6019−02	A(12,12) =	−6,0274−02	A(16,18) =	−2,6522−03
A(2,6) =	−6,4951−03	A (7,9) =	−5,2529−01	A(12,13) =	1,9666−02	A(16,20) =	8,6920−02
A(2,9) =	−4,0871−04	A (7,10) =	−1,4335−01	A(12,16) =	−1,6674−02	A(17,1) =	1,5259−03
A(2,10) =	7,7069−05	A (7,11) =	2,0988−05	A(12,20) =	1,1849−04	A(17,2) =	2,9539−04
A(2,11) =	3,8812−05	A (7,12) =	2,1548−05	A(13,1) =	−1,2666−01	A(17,5) =	−1,8642−03
A(2,12) =	3,9846−05	A (7,20) =	1,9477−04	A(13,2) =	−1,9152−02	A(17,6) =	−1,8970−04
A(2,20) =	1,0690−04	A (8,1) =	−3,1660−01	A(13,5) =	2,1005−01	A(17,9) =	−2,3088−04
A(3,1) =	7,7362−02	A (8,2) =	−5,276 −02	A(13,6) =	4,2121−02	A(17,10) =	−6,0850−05
A(3,2) =	1,1281−02	A (8,5) =	5,2616−01	A(13 9) =	1,4373−02	A(17,11) =	1,2497−02
A(3,3) =	−4,9167−02	A (8,6) =	9,9547−02	A(13,10) =	4,4738−03	A(17,12) =	4,6481−03
A(3,4) =	4,9167−02	A (8,8) =	−6,6017−02	A(13,11) =	8,1055−02	A(17,16) =	−2,8800−03
A(3,5) =	−7,5055−02	A (8,9) =	−1,9136−01	A(13,12) =	2,8337−02	A(17,17) =	−5,2177−03
A(3,6) =	−1,4939−02	A (8,10) =	1,3639−02	A(13,13) =	−1,9672−02	A(17,18) =	−1,0077−04
A(3,9) =	−4,0871−04	A (8,11) =	2,0989−05	A(13,14) =	1,9607−02	A(17,19) =	5,2177−03
A(3,10) =	7,7069−05	A (8,12) =	2,1548−05	A(13,16) =	−4,5424−02	A(17,20) =	2,0324−06
A(3,11) =	3,8812−05	A (8,20) =	1,9477−04	A(13,20) =	1,1849−04	A(18,1) =	1,5259−03
A(3,12) =	3,9846−05	A (9,1) =	5,0795	A(14,1) =	3,8766−02	A(18,2) =	2,9539−04
A(3,20) =	1,0690−04	A (9,2) =	8,2722−01	A(14,2) =	7,8183−03	A(18,5) =	−1,8642−03
A(4,1) =	8,1968−02	A (9,5) =	−8,0672	A(14,5) =	−5,2916−02	A(18,6) =	−1,8970−04
A(4,2) =	1,1727−02	A (9,6) =	−1,4448	A(14,6) =	−5,2280−03	A(18,9) =	−2,3088−04
A(4,4) =	−4,9168−02	A (9,9) =	−6,9160	A(14,9) =	−7,6159−03	A(18,10) =	−6,0830−05
A(4,5) =	−7,4664−02	A (9,10) =	−1,9115	A(14,10) =	−1,9189−03	A(18,11) =	1,2497−02
A(4,6) =	3,4485−02	A (9,11) =	9,5245	A(14,11) =	3,3366−01	A(18,12) =	4,6481−03
A(4,9) =	−4,0871−04	A (9 12) =	3 1480	A(14,12) =	1,1395−01	A(18,16) =	−2,8800−03
A(4,10) =	7,7069−05	A(10,1) =	−2,3052−01	A(14,14) =	−1,9612−02	A(18,17) =	5,2177−03
A(4,11) =	3,8812−05	A(10,2) =	−3,7026−02	A(14,16) =	−9,5458−02	A(18,18) =	−5,3784−03
A(4,12) =	3,9846−05	A(10,5) =	3,7294−01	A(14,20) =	1,1849−04	A(18,20) =	2,0324−06
A(4,20) =	1,0690−04	A(10,6) =	6,8714−02	A(15,1) =	4,7326−02	A(19,1) =	1,5259−03
A(5,1) =	2,8917+01	A(10,9) =	1,1048−02	A(15,2) =	8,6919−03	A(19,2) =	2,9539−04
A(5,2) =	4,5653	A(10,10) =	−1,9153−02	A(15,5) =	−5,5880−02	A(19,5) =	−1,8642−03
A(5,5) =	−3,8870+01	A(10,11) =	−1,4788−01	A(15,6) =	−6,6526−03	A(19,6) =	−1,8970−04
A(5,6) =	−7,4184	A(10,12) =	−2,7141−02	A(15,9) =	−5,6259−03	A(19,9) =	−2,3088−04
A(5,9) =	1,0031+01	A(10,20) =	6,7758−05	A(15,10) =	−1,5778−03	A(19,10) =	−6,0830−05
A(5,10) =	2,7181	A(11,1) =	−3,3802	A(15,11) =	3,0523−01	A(19,11) =	1,2497−02
A(6,1) =	−9,1911−02	A(11,2) =	−5,4884−01	A(15,12) =	1,0530−01	A(19,12) =	4,6481−03
A(6,2) =	−1,4923−02	A(11,5) =	5,4181	A(15,15) =	−5,2936−04	A(19,16) =	−2,8800−03
A(6,5) =	5,0510−04	A(11,6) =	9,8345−01	A(15,16) =	−7,6214−02	A(19,18) =	−1,6077−04
A(6,6) =	−6,7889−02	A(11,9) =	4,5085−01	A(15,18) =	−5,8873−05	A(19,19) =	−5,2177−03
A(6,7) =	6,6241−02	A(11,10) =	1,3120−01	A(15,20) =	1,9294−03	A(19,20) =	2,0324−06
A(6,9) =	7,2516−02	A(11,11) =	−4,6206	A(16,1) =	2,7867−01	A(20,16) =	9,6151−04
A(6,10) =	1,8639−02	A(11,12) =	−1,5624	A(16,2) =	5,1180−02	A(20,18) =	1,0791−03
A(6,11) =	2,0989−05	A(11,16) =	6,0649−01	A(16,5) =	−3,2904−01	A(20,20) =	−4,4317−03

berechnung sind derartige Matrizen schwer überschaubar. Vorteilhaft erweist sich hier der im Bild 4 dargestellte Aufbau von Mustermatrizen. Die dunkel ausgewiesenen Elemente repräsentieren Zahlenwerte, alle anderen Elemente sind Nullelemente.

In die Beobachterberechnung nach [3] können, wie mit Bild 3 angedeutet, verschiedene Systemausgangsstrukturen einbezogen werden. Für die angeführten Ausgangsmatrizen $\boldsymbol{H}$ 1 und $\boldsymbol{H}$ 2 ist System (1) vor der Berechnungsdurchführung zu permutieren. Die dazu notwendigen Permutationsmatrizen sind in Tafel 3 dargestellt. Mehrere Beobachterentwürfe mit verschiedenen Eigenwertlagen zur Analyse der Rekonstruktionsdynamik sind von Vorteil.

Zur Vermeidung einer sich wiederholenden Lösung von Vektordifferentialgleichungssystemen hoher Ordnung wird der Beobachter einmal berechnet und anschließend nachgebildet. Die Nachbildung erfolgt zum Zwecke des rechtzeitigen Erkennens von Störungen kontinuierlich. Nachgebildet werden alle oder einige ausgewählte wichtige Prozeßzustandsgrößen, wie im Bild 5 erkennbar ist. Die Genauigkeit des Nachbildungsprozesses steigt mit kleiner werdendem Nachbildungsintervall ΔT. Zur Durchführung der Beobachternachbildung für den angegebenen Prozeß ist die folgende Strategie anwendbar.

2. Nachbildungsstrategie

Schritt 1: Permutation des Systems (1) durch Systemtransformation mit $\boldsymbol{v}(t) = \boldsymbol{P}\boldsymbol{x}(t)$ zu

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{v}}(t) &= \boldsymbol{P}\boldsymbol{A}\boldsymbol{P}^{-1}\boldsymbol{v}(t) + \boldsymbol{P}\boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t) \\ \boldsymbol{y}(t) &= \boldsymbol{H}\boldsymbol{P}^{-1}\boldsymbol{v}(t) \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

mit

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{P}\boldsymbol{A}\boldsymbol{P}^{-1} &= \boldsymbol{A}_{\mathrm{p}} \\ \boldsymbol{H}\boldsymbol{P}^{-1} &= \boldsymbol{H}_{\mathrm{p}} \\ \boldsymbol{P}\boldsymbol{B} &= \boldsymbol{B}_{\mathrm{p}} \,. \end{aligned}\right\} \qquad (2.1)$$

Die permutierte Systemdarstellung lautet:

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{v}}(t) &= \boldsymbol{A}_{\mathrm{p}}\boldsymbol{v}(t) + \boldsymbol{B}_{\mathrm{p}}\boldsymbol{u}(t) \,, \\ \boldsymbol{y}(t) &= \boldsymbol{H}_{\mathrm{p}}\boldsymbol{v}(t) \,. \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Schritt 2: Berechnung der permutierten Beobachter- und Beobachtersystemmatrix $\boldsymbol{G}_{\mathrm{p}}$ bzw. $\boldsymbol{D}_{\mathrm{p}}$ für verschiedene variierte Eigenwertvorgaben.

Schritt 3: Rückpermutation von $\boldsymbol{G}_{\mathrm{p}}$ bzw. $\boldsymbol{D}_{\mathrm{p}}$ gemäß $\boldsymbol{G} = \boldsymbol{P}^{-1}\boldsymbol{G}_{\mathrm{p}}$ und Berechnung der tatsächlichen Beobachter und Beobachtersystemmatrix $\boldsymbol{G}$ bzw. $\boldsymbol{D}$.

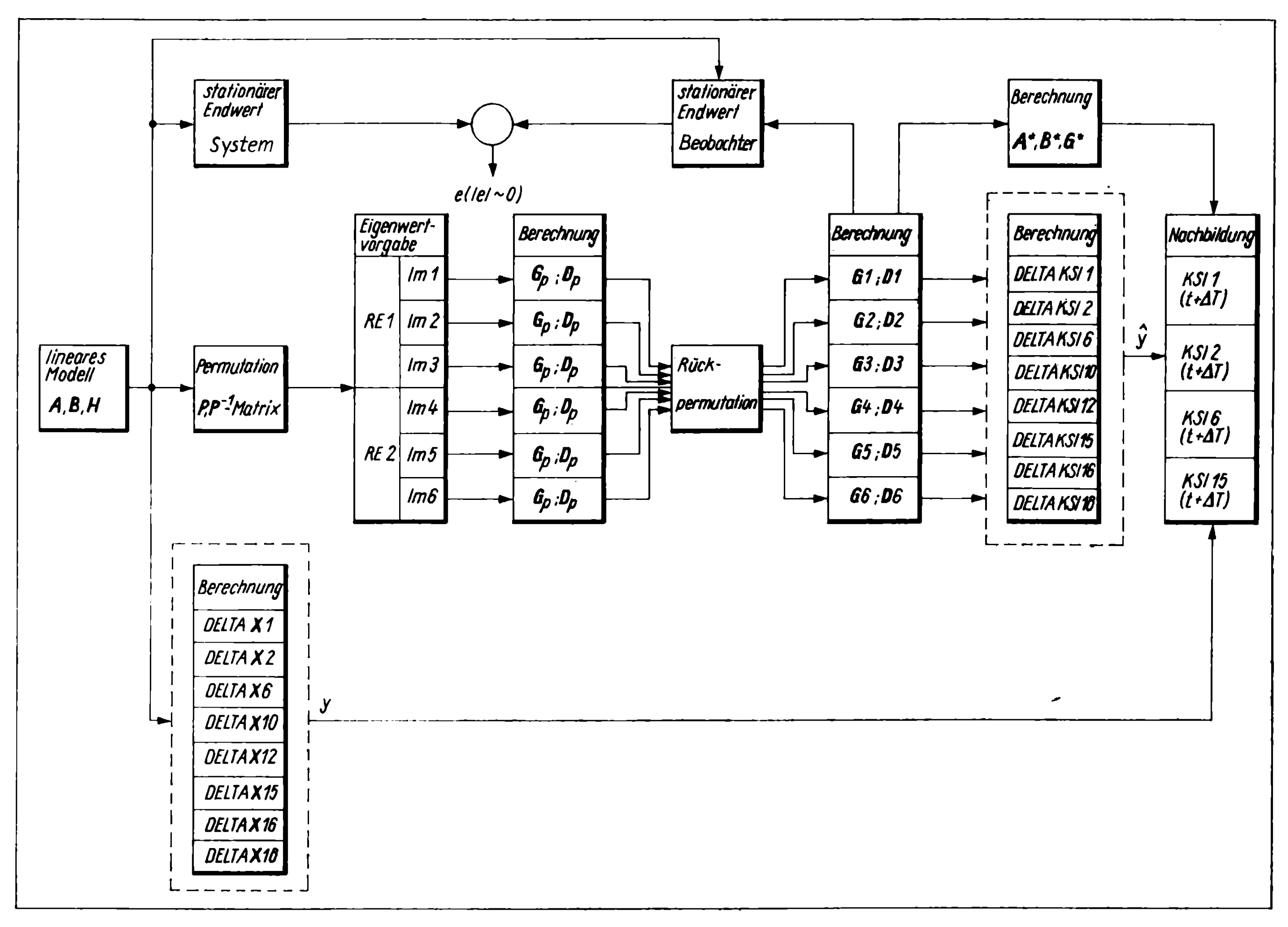


Bild 5. Rekonstruktion und Nachbildung interessierender Prozeßzustandsgrößen

Tafel 3. Permutationsmatrizen für die Ausgangsstrukturen H 1 und H 2

Struktur H 1		Struktur H 2	
P-Matrix	P^{-1}-Matrix	P-Matrix	P^{-1}-Matrix
$P(1,1) = 1$	$P^{-1}(1,1) = 1$	$P(1,1) = 1$	$P^{-1}(1,1) = 1$
$P(2,2) = 1$	$P^{-1}(2,2) = 1$	$P(2,2) = 1$	$P^{-1}(2,2) = 1$
$P(3,6) = 1$	$P^{-1}(3,7) = 1$	$P(3,6) = 1$	$P^{-1}(3,9) = 1$
$P(4,10) = 1$	$P^{-1}(4,8) = 1$	$P(4,10) = 1$	$P^{-1}(4,10) = 1$
$P(5,15) = 1$	$P^{-1}(5,9) = 1$	$P(5,12) = 1$	$P^{-1}(5,11) = 1$
$P(6,18) = 1$	$P^{-1}(6,3) = 1$	$P(6,15) = 1$	$P^{-1}(6,3) = 1$
$P(7,3) = 1$	$P^{-1}(7,10) = 1$	$P(7,16) = 1$	$P^{-1}(7,12) = 1$
$P(8,4) = 1$	$P^{-1}(8,11) = 1$	$P(8,18) = 1$	$P^{-1}(8,13) = 1$
$P(9,5) = 1$	$P^{-1}(9,12) = 1$	$P(9,3) = 1$	$P^{-1}(9,14) = 1$
$P(10,7) = 1$	$P^{-1}(10,4) = 1$	$P(10,4) = 1$	$P^{-1}(10,4) = 1$
$P(11,8) = 1$	$P^{-1}(11,13) = 1$	$P(11,5) = 1$	$P^{-1}(11,15) = 1$
$P(12,9) = 1$	$P^{-1}(12,14) = 1$	$P(12,7) = 1$	$P^{-1}(12,5) = 1$
$P(13,11) = 1$	$P^{-1}(13,15) = 1$	$P(13,8) = 1$	$P^{-1}(13,16) = 1$
$P(14,12) = 1$	$P^{-1}(14,16) = 1$	$P(14,9) = 1$	$P^{-1}(14,17) = 1$
$P(15,13) = 1$	$P^{-1}(15,5) = 1$	$P(15,11) = 1$	$P^{-1}(15,6) = 1$
$P(16,14) = 1$	$P^{-1}(16,17) = 1$	$P(16,13) = 1$	$P^{-1}(16,7) = 1$
$P(17,16) = 1$	$P^{-1}(17,18) = 1$	$P(17,14) = 1$	$P^{-1}(17,18) = 1$
$P(18,17) = 1$	$P^{-1}(18,6) = 1$	$P(18,17) = 1$	$P^{-1}(18,8) = 1$
$P(19,19) = 1$	$P^{-1}(19,19) = 1$	$P(19,19) = 1$	$P^{-1}(19,19) = 1$
$P(20,20) = 1$	$P^{-1}(20,20) = 1$	$P(20,20) = 1$	$P^{-1}(20,20) = 1$

Schritt 4: Berechnung bestimmter Prozeßzustandsgrößen entsprechend Struktur der Systemausgangsmatrix. Dazu wird (1) durch Anfangswertvorgabe gelöst. Die erhaltenen Prozeßzustände bilden die Systemausgangssignale $\boldsymbol{y}_1$.

Schritt 5: Berechnung bestimmter rekonstruierter Prozeßzustandsgrößen durch Lösen der Beobachtergleichung

$$\left.\begin{aligned} \dot{\xi}(t) &= \boldsymbol{D}\xi(t) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t) + \boldsymbol{G}\boldsymbol{y}(t) \\ \xi(t) &= \hat{\boldsymbol{x}}(t) \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

für eine bestimmte Anfangswertvorgabe. Die erhaltenen rekonstruierten Prozeßzustände bilden die Systemausgangssignale $\hat{\boldsymbol{y}}_1$ des Beobachters.

Schritt 6: Nachbildung bestimmter interessierender Prozeßzustände durch Lösen der Nachbildungsgleichung nach [2]

$$\xi(t + \Delta T) = \boldsymbol{A}^*\xi(t) + 2\boldsymbol{B}^*\boldsymbol{u}(t) + 2\boldsymbol{G}^*(\boldsymbol{y} - \hat{\boldsymbol{y}}) \tag{5}$$

mit

$$\boldsymbol{A}^* = \left(\boldsymbol{I} - \frac{\Delta T}{2}\boldsymbol{A}\right)^{-1}\left(\boldsymbol{I} + \frac{\Delta T}{2}\boldsymbol{A}\right) \tag{5.1}$$

$$\boldsymbol{B}^* = \left(\boldsymbol{I} - \frac{\Delta T}{2}\boldsymbol{A}\right)^{-1}\boldsymbol{B}\frac{\Delta T}{2} \tag{5.2}$$

$$\boldsymbol{G}^* = \left(\boldsymbol{I} - \frac{\Delta T}{2}\boldsymbol{A}\right)^{-1}\boldsymbol{G}\frac{\Delta T}{2}. \tag{5.3}$$

$\boldsymbol{I}$ = Einheitsmatrix

Dabei wird vorausgesetzt, daß das $\boldsymbol{u}(t)$ und $\boldsymbol{y}(t)$ während des Zeitintervalls $(t, t + \Delta T)$ konstant sind.

Schritt 7: Nachbildung dieser Prozeßzustandsgrößen für verschiedene Zeitintervalle ΔT und Ermittlung der Nachbildungsgenauigkeit. Berechnung der stationären Endwerte von System und Beobachter zur Ermittlung des Beobachterfehlers bzw. zu Funktionskontrollzwecken.

Zusammenfassung

Untersucht wird ein Mehrgrößenproblem der Kraftwerkstechnik. Aus der Komplexität der Aufgabenstellung ist ein erhöhter numerischer Aufwand zur Beobachterberechnung ableitbar. Dieser kann jedoch durch Anwendung der vorgestellten Nachbildungsstrategie gering gehalten werden. Für eine korrekte Nachbildung ist eine genaue Prozeßanalyse unerläßlich. Zur nachbildungsdynamischen Untersuchung sollten Beobachter mit veränderten Eigenwertlagen bzw. veränderte Nachbildungsintervalle getestet werden. Die Nachbildung erfolgt kontinuierlich und ist für Programmierungszwecke geeignet. Die vorgestellte Nachbildungsstrategie ist für jede Systemvariante einsetzbar. Bei Vorliegen entsprechender Systemausgangsstrukturen kann auf die Permutation verzichtet werden.

Literatur

[1] *Luenberger, D. G.:* Observer for Multivariable Systems. IEEE Trans. on Automatic Control 11 (1966), pp. 190–197

[2] *Dettinger, R.:* Entwurf einer optimalen Regelung für komplizierte Mehrgrößensysteme und Erprobung am Beispiel eines Dampferzeugers. Fortschrittsberichte der VDI-Zeitschriften. Reihe B, Nr. 25. Düsseldorf: VDI-Verlag 1976.

[3] *Krämer, P.:* Zum Entwurf von Zustandsbeobachtern. msr, Berlin 26 (1983) 5, S. 258–261.

[4] *Krämer, P.:* Zur Entwicklung von Beobachtersystemen für Mehrgrößenregelungen. Vortrag zum Kolloquim IH Zittau – TH Liberec. IH Zittau, Sektion KW-Anlagen und E-Umwandlung, Juni 1982.

[5] *Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Modellbildung und Entwurf von Mehrgrößenregelungen für Dampferzeuger. Dissertation A, IH Zittau 1979.

msr 7836

Dipl.-Math. *D. Biedermann*, Magdeburg[1])

Störungsunterdrückung durch dezentrale Ausgangsrückführung

IA 2.3.1.7.

0. Einleitung

Es werden zwei Entwurfsverfahren für lineare zeitinvariante Mehrgrößensysteme (MGS) vorgestellt, die unterschiedlichen Forderungen an das Störverhalten der geregelten Strecke Rechnung tragen. Die eine der Syntheseforderungen beinhaltet die vollständige Unterdrückung jeglicher Störungsauswirkungen auf die Regelgrößen (Unstörbarkeit der Regelgrößen). Da jedoch der Idealfall, daß sich die Störungen zu keiner Zeit in den Regelgrößen bemerkbar machen, oftmals nicht erreichbar ist, wird anschließend ein zweites Verfahren angegeben, das das stationäre Verschwinden eines Regelfehlers zum Ziel hat. Es beruht auf einer Plazierung der Stör-Übertragungsnullstellen über den Polen des Störmodells, das hierzu vorliegen muß [1].

In beiden Verfahren ist die Meßbarkeit der Regelgrößen nicht erforderlich. Im Fall einer technologischen Untergliederung der Strecke brauchen somit lediglich die eine Teilregelstrecke unmittelbar beeinflussenden Störungen betrachtet zu werden, sofern man die Streckenkopplungen als Regelgrößen formuliert. Die Störungsbekämpfung „vor Ort" bewirkt ein schnelleres Kompensieren dieser Einflußgrößen. Einen weiteren Gesichtspunkt der Betrachtung nichtmeßbarer Regelgrößen bildet der Verzicht auf Meßeinrichtungen mit in bezug auf die Strecke dominierenden Zeitkonstanten oder Totzeiten.

Die Erfüllung oben genannter Syntheseforderungen läßt sich durch eine Systemerweiterung gewährleisten. Die erweiterte Regelstrecke kann anschließend zusätzlichen Forderungen an das dynamische Systemverhalten, wie Stabilität oder Optimalität, unterworfen werden.

Mit dem Konzept einer Plazierung der Stör-Übertragungsnullstellen wird eine wesentlich größere Klasse von Regelgrößen als zum Beispiel durch den Einsatz von Ausgangsintegratoren zur Bekämpfung von Sprungstörungen erfaßt. Da das zweite Verfahren auch auf Führungsprobleme anwendbar ist, schließt der Beitrag die Resultate aus [2] bis [4] bei dezentraler Reglerstruktur ein.

---

[1]) Mitteilung aus der TH „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion TK/ET, WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen.

1. Unstörbarkeit der Regelgrößen

1.1. *Zustandsbeschreibung für Regelstrecke und Regler*

Gegeben sei das lineare zeitinvariante MGS

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{E}\boldsymbol{z}(t) + \sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{B}_i\boldsymbol{u}_i(t) \tag{1}$$

$$\boldsymbol{y}_i(t) = \boldsymbol{C}_i\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{D}_i\boldsymbol{u}_i(t) \qquad (i = \overline{1, N}) \tag{2}$$

$$\hat{\boldsymbol{y}}_i(t) = \hat{\boldsymbol{H}}_i\boldsymbol{z}(t) \qquad (i = \overline{1, N}) \tag{3}$$

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{C}^r\boldsymbol{x}(t) + \sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{D}_i^r\boldsymbol{u}_i(t)\,. \tag{4}$$

$\boldsymbol{x}(t)$ n-dimensionaler Zustandsvektor, $\boldsymbol{u}_i(t)$ m_i-dimensionale Eingangsvektoren, $\boldsymbol{y}_i(t)$ bzw. $\hat{\boldsymbol{y}}_i(t)$ r_i- bzw. $\hat{r}_i$-dimensionale Vektoren der lokal meßbaren Ausgangsgrößen, $\boldsymbol{r}(t)$ Vektor der Regelgrößen, $\boldsymbol{z}(t)$ Störvektor

Über eine Erweiterung des Zustandsvektors und eine Approximation des zweiten Terms in (4) durch die zusätzlich eingeführten Zustandsgrößen läßt sich das System (1) bis (4) beliebig genau als System (1) bis (3) und (4′) mit

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{C}^r\boldsymbol{x}(t) \tag{4′}$$

darstellen. Das neue System wird dem vorzustellenden Verfahren zugrunde liegen. Als Resultat von drei Entwurfsschritten ergeben sich N Teilregler der Form

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\zeta_i(t) = \boldsymbol{G}_i^1\zeta_i(t) + \boldsymbol{G}_i^2\tilde{\boldsymbol{y}}_i(t) + \hat{\boldsymbol{G}}_i^1\hat{\boldsymbol{y}}_i(t)\,, \tag{5a}$$

$$\boldsymbol{u}_i(t) = \boldsymbol{G}_i^3\zeta(t) + \boldsymbol{G}_i^4\tilde{\boldsymbol{y}}_i(t) + \hat{\boldsymbol{G}}_i^2\hat{\boldsymbol{y}}_i(t)\,, \tag{5b}$$

$$\tilde{\boldsymbol{y}}_i(t) = \boldsymbol{y}_i(t) - \boldsymbol{D}_i\boldsymbol{u}_i(t)\,. \tag{5c}$$

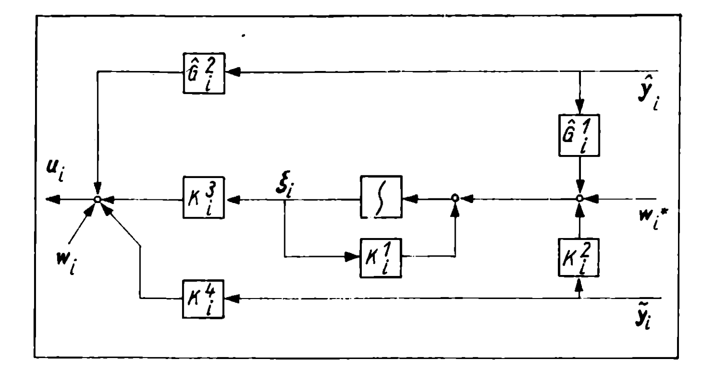
1. Schritt: Für das System (1), (2′), (3), (4′) mit

$$\tilde{\boldsymbol{y}}_i(t) = \boldsymbol{C}_i\boldsymbol{x}(t) \tag{2′}$$

werden für jedes $i = \overline{1, N}$ eine dezentrale Vorwärtssteuerung unter Verwendung von $\hat{\boldsymbol{y}}_i(t)$ und eine dezentrale Rückführung von $\tilde{\boldsymbol{y}}_i(t)$ in Gestalt der Systemerweiterung

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\xi_i(t) = \boldsymbol{K}_i^1\xi_i(t) + \boldsymbol{K}_i^2\tilde{\boldsymbol{y}}(t) + \hat{\boldsymbol{G}}_i^1\hat{\boldsymbol{y}}_i(t) + \boldsymbol{w}_i^*(t) \tag{6a}$$

$$\boldsymbol{u}_i(t) = \boldsymbol{K}_i^3\xi_i(t) + \boldsymbol{K}_i^4\tilde{\boldsymbol{y}}_i(t) + \hat{\boldsymbol{G}}_i^2\hat{\boldsymbol{y}}_i(t) + \boldsymbol{w}_i(t) \tag{6b}$$



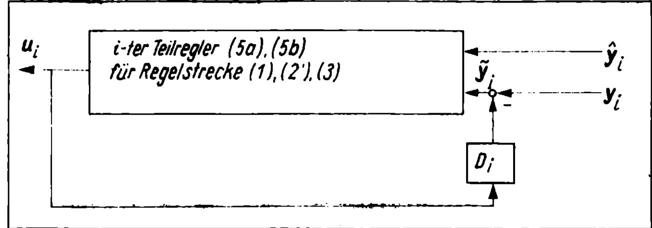


Bild 1. (links) Systemerweiterung gemäß Beziehung (6)

Bild 2. i-ter Teilregler der Gestalt (5) für die Regelstrecke (1) bis (3)

vorgenommen. Sie haben die Unstörbarkeit der Regelgrößen zu gewährleisten (Bild 1).

2. Schritt: Das System (1), (2'), (3) und (6) mit den neuen Eingangsvektoren $\boldsymbol{u}_i^*(t) = [(\boldsymbol{w}_i^*(t))^T, (\boldsymbol{w}_i(t))^T]^T$ und den zugehörigen Vektoren der lokal meßbaren Größen

$$\boldsymbol{y}_i^*(t) = \boldsymbol{P}_{i2}\begin{bmatrix}\boldsymbol{\xi}_i(t)\\ \tilde{\boldsymbol{y}}_i(t)\end{bmatrix};\ (i = \overline{1, N})$$

wird nun zusätzlichen Syntheseforderungen unterworfen. Das im Meßkanal dazwischengeschaltete Filter $\boldsymbol{P}_{i2}$ sichert die Invarianz des Entwurfsziels des ersten Schrittes gegenüber einer beliebigen Parameterfestlegung im Rückführgesetz

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\eta}_i(t) = \boldsymbol{T}_i^1\boldsymbol{\eta}_i(t) + \boldsymbol{T}_i^2\cdot\boldsymbol{y}_i^*(t)\,, \tag{7a}$$

$$\boldsymbol{u}_i(t) = \boldsymbol{T}_i^3\boldsymbol{\eta}_i(t) + \boldsymbol{T}_i^4\boldsymbol{y}_i^*(t)\,. \tag{7b}$$

3. Schritt: Mit den internen Rückführungen (5c) werden die Teilregler (6) und (7) an die Strecke (1) bis (3) angepaßt (Bild 2).

1.2. *Lösungsprinzip*

Der Syntheseforderung $\boldsymbol{r}(t) \equiv \boldsymbol{0}$ $(t \geqq 0)$ für $\boldsymbol{x}(0) = \boldsymbol{0}$ und beliebige Störgrößen $\boldsymbol{z}(t)$ soll durch eine Signalüberlagerung zu einem Nullsignal Rechnung getragen werden. Dazu bietet sich das Konzept der $(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B})$-invarianten Unterräume an. An die Stelle der in [5] verwendeten Zustandsrückführung tritt eine dezentrale Ausgangsrückführung. Die Bedingungen (10) bis (12) bestimmen dabei die Dimensionen der Vektoren $\xi_i(t)$. Durch eine geeignete Wahl von $\hat{\boldsymbol{G}}_i^1$ und $\hat{\boldsymbol{G}}_i^2$ in der Vorwärtssteuerung wird zusätzlich die Matrix der Störeingänge verändert.

1.3. *Algorithmus*

Es bezeichnen $\boldsymbol{A}^0 = \boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}_i^0 = \boldsymbol{B}_i$, $\boldsymbol{C}_i^0 = \boldsymbol{C}_i$ $(i = \overline{1, N})$, $\boldsymbol{C}^{0r} = \boldsymbol{C}^r$ und $\boldsymbol{B}^0 = [\boldsymbol{B}_1^0 \vdots \ldots \vdots \boldsymbol{B}_N^0]$. Gesucht wird eine spaltenreguläre Matrix $\boldsymbol{V}^0$ geeigneten Formats, für die gilt

$$\boldsymbol{C}^{0r}\cdot\boldsymbol{V}^0 = \boldsymbol{0} \tag{8}$$

$$\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{V}^0 \vdots \boldsymbol{B}^0] = \mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{V}^0 \vdots \boldsymbol{B}^0 \vdots \boldsymbol{A}^0\cdot\boldsymbol{V}^0]\,. \tag{9}$$

Es sei l die Spaltenzahl von $\boldsymbol{V}^0$. Stets lassen sich eine der Beziehung $\boldsymbol{A}^0\cdot\boldsymbol{V}^0 = \boldsymbol{V}^0\boldsymbol{Q} - \boldsymbol{B}^0\cdot\boldsymbol{M}$ genügende $(\sum_{i=1}^{N} m_i, l)$-Matrix $\boldsymbol{M}$ und eine (l, l)-Matrix $\boldsymbol{Q}$ finden. Falls $\boldsymbol{B}^0$ nicht spaltenregulär ist, wird eine spaltenreguläre Matrix $\boldsymbol{L}$ von größtmöglichem Rang mit $\boldsymbol{B}^0\cdot\boldsymbol{L} = \boldsymbol{0}$ gesucht. (Für spaltenreguläre Matrizen $\boldsymbol{B}^0$ wird die Zeilenzahl von $\boldsymbol{L}$ gleich Null gesetzt.)

Für die ermittelte Matrix $\boldsymbol{L}$ kann nun $\boldsymbol{B}^0\cdot\boldsymbol{L} = \sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{B}_i\cdot\boldsymbol{L}_i$ mit $\boldsymbol{L} = \begin{bmatrix}\boldsymbol{L}_1\\ \vdots\\ \boldsymbol{L}_N\end{bmatrix}$ geschrieben werden. Die Matrix $\boldsymbol{M}$ ist ebenso darzustellen. Es sind nun derartige Matrizen $\boldsymbol{X}$, $\hat{\boldsymbol{G}}_i^1$, $\hat{\boldsymbol{G}}_i^2$ und $\boldsymbol{V}_i$ $(i = \overline{1, N})$ zu ermitteln, daß für $\boldsymbol{R}_i = \begin{bmatrix}\boldsymbol{V}_i\\ \boldsymbol{C}_i^0\cdot\boldsymbol{V}^0\end{bmatrix}$ folgende Bedingungen erfüllt werden:

$$\mathrm{Rg}\,\boldsymbol{R}_i = \mathrm{Rg}\begin{bmatrix}\boldsymbol{R}_i\\ \boldsymbol{V}_i\boldsymbol{Q}\end{bmatrix} = \mathrm{Rg}\begin{bmatrix}\boldsymbol{R}_i\\ \boldsymbol{M}_i + \boldsymbol{L}_i\boldsymbol{X}\end{bmatrix} \tag{10}$$

$$\mathrm{Rg}\,\boldsymbol{V}^0 = \mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{V}^0 \vdots \boldsymbol{E} + \sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{B}_i\hat{\boldsymbol{G}}_i^2\hat{\boldsymbol{H}}_i] \tag{11}$$

$$\hat{\boldsymbol{G}}_i^1\hat{\boldsymbol{H}}_i = \boldsymbol{V}_i\cdot\boldsymbol{W}\cdot(\boldsymbol{E} + \sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{B}_i\hat{\boldsymbol{G}}_i^2\hat{\boldsymbol{H}}_i) \tag{12}$$

mit $\boldsymbol{W} = ((\boldsymbol{V}^0)^T\boldsymbol{V}^0)^{-1}(\boldsymbol{V}^0)^T$.

Im folgenden bezeichnen (n_i, l) das Format von $\boldsymbol{V}_i$ und l_i den Rang von $\boldsymbol{R}_i$. Gesucht werden eine $(n_i + r_i, n_i + r_i)$-Transformationsmatrix $\boldsymbol{P}_i = \begin{bmatrix}\boldsymbol{P}_{i1}\\ \boldsymbol{P}_{i2}\end{bmatrix}$ und eine (l_i, l)-Matrix $\tilde{\boldsymbol{V}}_i$ mit $\boldsymbol{P}_{i1}\boldsymbol{R}_i = \tilde{\boldsymbol{V}}_i$ und $\boldsymbol{P}_{i2}\boldsymbol{R}_i = \boldsymbol{0}$ $(i = \overline{1, N})$. Für $l_i > 0$ und für Vektoren $\boldsymbol{\xi}_i$ mit der Dimension n_i wird

$$\begin{bmatrix}\boldsymbol{K}_i^1 & \boldsymbol{K}_i^2\\ \boldsymbol{K}_i^3 & \boldsymbol{K}_i^4\end{bmatrix} = \boldsymbol{K}_i = \begin{bmatrix}\boldsymbol{V}_i\boldsymbol{Q}\\ \boldsymbol{M}_i\end{bmatrix}\cdot\tilde{\boldsymbol{V}}_i^T\cdot(\tilde{\boldsymbol{V}}_i\tilde{\boldsymbol{V}}_i^T)^{-1}\cdot\boldsymbol{P}_{i1}$$

berechnet. Im Fall $l_i = 0$ ist $\boldsymbol{u}_i(t) = \boldsymbol{u}_i^*(t) + \hat{\boldsymbol{G}}_i^2\cdot\hat{\boldsymbol{y}}_i(t)$ zu setzen.

Es werden nun die (n_i, n^*)-Matrizen $\boldsymbol{J}_i = [\boldsymbol{0}_{i1} \vdots \boldsymbol{I} \vdots \boldsymbol{0}]$ definiert, wobei $n^* = \sum_{i=1}^{N} n_i$. Hierbei ist $\boldsymbol{0}_{i1}$ eine $(n^*, \sum_{j=1}^{i-1} n_j)$-Nullmatrix. Die Systemmatrix $\boldsymbol{A}^*$ des erweiterten Systems (1) bis (3) und (6) ergibt sich aus

$$\tilde{\boldsymbol{A}} = \begin{bmatrix}\boldsymbol{0} & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A}^0\end{bmatrix},\qquad \tilde{\boldsymbol{B}}_i = \begin{bmatrix}(\boldsymbol{J}_i)^T & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{B}_i^0\end{bmatrix},$$

$$\tilde{\boldsymbol{C}}_i = \begin{bmatrix}\boldsymbol{J}_i & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{C}_i^0\end{bmatrix}\qquad (i = \overline{1, N})$$

als $\boldsymbol{A}^* = \tilde{\boldsymbol{A}} + \sum_{i=1}^{N}\tilde{\boldsymbol{B}}_i\boldsymbol{K}_i\tilde{\boldsymbol{C}}_i$. Das dem zweiten Entwurfsschritt zugrunde liegende System

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{x}^e(t) = \boldsymbol{A}^e\cdot\boldsymbol{x}^e(t) + \sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{B}_i^e\cdot\boldsymbol{u}_i^*(t) \tag{13}$$

$$\boldsymbol{y}_i^e(t) = \boldsymbol{C}_i^e\boldsymbol{x}^e(t)\qquad (i = \overline{1, N}) \tag{14}$$

erhält man durch eine Ähnlichkeitstransformation mit der Transformationsmatrix $\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix}\boldsymbol{R}^* \vdots \begin{bmatrix}\boldsymbol{V}^*\\ \boldsymbol{V}^0\end{bmatrix}\end{bmatrix}$ und mit $\boldsymbol{V}^* = \begin{bmatrix}\boldsymbol{V}_1\\ \vdots\\ \boldsymbol{V}_N\end{bmatrix}$ aus

$$\boldsymbol{B}_i^* = \tilde{\boldsymbol{B}}_i\,,\qquad \boldsymbol{C}_i^* = \boldsymbol{P}_{i2}\tilde{\boldsymbol{C}}_i\,,\qquad \boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}_i^* = \begin{bmatrix}\boldsymbol{B}_i^e\\ \boldsymbol{B}_{i0}\end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{C}_i^*\boldsymbol{R} = [\boldsymbol{C}_i^e \vdots \boldsymbol{0}]\qquad (i = \overline{1, N})$$

und

$$\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{A}^*\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix}\boldsymbol{A}^e & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{A}_0 & \boldsymbol{Q}\end{bmatrix}.$$

Die Spaltenzahl der die Regularität von $\boldsymbol{R}$ sichernden Matrix $\boldsymbol{R}^*$ erscheint hierbei als Zeilen- bzw. Spaltenzahl von $\boldsymbol{B}_i^e$ bzw. $\boldsymbol{C}_i^e$.

1.4. *Lösbarkeitsbedingungen*

(I) Es existiert ein dezentraler Regler (5) für das System (1) bis (3) zur Gewährleistung der Unstörbarkeit der Regelgrößen aus (4'), wenn sich Matrizen $\boldsymbol{V}^0$, $\hat{\boldsymbol{G}}_i^1$, $\hat{\boldsymbol{G}}_i^2$ und $\boldsymbol{V}_i$ $(i = \overline{1, N})$ angeben

lassen, die den Beziehungen (8) bis (12) genügen. Wenn, umgekehrt, das geregelte System unstörbar ist, so existieren Matrizen $V^0, Y, \hat{G}_i^1, \hat{G}_i^2$ und V_i $(i = \overline{1, N})$, die den Bedingungen (8) bis (10) und

$$E + \sum_{i=1}^{N} B_i \hat{G}_i^2 \hat{H}_i = V^0 Y \tag{11'}$$

$$\hat{G}_i^1 \hat{H}_i = V_i Y \qquad (i = \overline{1, N}) \tag{12'}$$

genügen.

(II) Die Unstörbarkeit der Regelgrößen aus (4') des Systems (1) bis (3), (5c), (6) und (7) ist invariant gegenüber jeder Parameteränderung in den Rückführgesetzen (7).

2. Plazierung der Stör-Übertragungsnullstellen

2.1. *Zustandsbeschreibung für Regelstrecke und Regler*

Gegeben sei das lineare zeitinvariante MGS (1) und

$$y_i(t) = C_i x(t) + H_i z(t) + D_i u_i(t) \qquad (i = \overline{1, N}) \tag{15}$$

$$r(t) = C^r \cdot x(t) + H^r \cdot z(t)\,. \tag{16}$$

Neben Störgrößen kann der Vektor z hierin auch Führungsgrößen repräsentieren. In diesem Fall ist r als Vektor der Regelabweichungen aufzustellen. Alle übrigen Vektoren behalten die in Abschn. 1.1. angeführte Bedeutung. Weiterhin sei das Störmodell $\frac{d}{dt} z(t) = Q \cdot z(t)$ bekannt. Für verschwindende Matrizen $\hat{G}_i^1$ und $\hat{G}_i^2$ stimmt die Reglerstruktur mit der aus dem Unstörbarkeitsentwurf überein. Im ersten Entwurfsabschnitt ist jedoch die Beziehung (2') durch

$$\tilde{y}_i(t) = C_i \cdot x(t) + H_i \cdot z(t) \tag{2''}$$

zu ersetzen.

2.2. *Lösungsprinzip*

Durch die Plazierung der Stör-Übertragungsnullstellen verlieren die Pole des Störmodells (im Gegensatz zu den Anfangswerten $z(0)$) ihren Einfluß auf den zeitlichen Verlauf von $r(t)$. Demzufolge würde z. B. eine Stabilisierung der erweiterten Regelstrecke im zweiten Entwurfsschritt $r(t) \to 0$ für $t \to \infty$ bewirken (stationäre Unstörbarkeit). Die Synthesevorschrift beruht auch hier auf der Ermittlung eines (A, B)-invarianten Unterraumes. Für den Fall einer zentralen Ausgangsrückführung sind die Lösungsbedingungen in [6] zu finden.

2.3. *Algorithmus*

Im Unterschied zu Abschn. 1.3. sei $A^0 = \begin{bmatrix} A & E \\ 0 & Q \end{bmatrix}$, $B_i^0 = \begin{bmatrix} B_i \\ 0 \end{bmatrix}$

$$C_i^0 = [C_i \,\vdots\, H_i] \quad (i = \overline{1, N})\,, \qquad C^{0r} = [C^r \,\vdots\, H^r]$$

und

$$B^0 = [B_1^0 \,\vdots\, \dots \,\vdots\, B_N^0]\,.$$

Gesucht wird eine den Bedingungen (8) und (9) genügende Matrix $V^0 = \begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix}$, deren Spaltenzahl l mit der Ordnung des Störmodells übereinstimmt. Für sie läßt sich stets eine $(\sum_{i=1}^{N} m_i, l)$-Matrix M mit $A^0 \cdot V^0 = V^0 \cdot Q - B^0 \cdot M$ angeben. Alle anderen Matrizen sind gemäß Abschn. 1.3. zu berechnen, wobei die Bedingungen (11) und (12) hier entfallen.

2.4. *Stör-Übertragungsmatrix*

Für beliebige Matrizen $T^j = \text{blockdiag}\,[T_1^j, \dots, T_N^j]$ $(j = \overline{1, N})$ ist der laplacetransformierte Vektor der Regelgrößen des Systems (1), (5c), (6), (7), (15) und (16) darstellbar als

$$\mathfrak{L}\{r(t)\} = = [0 \,\vdots\, C^r] \cdot G(p) \left(\begin{bmatrix} \eta(0) \\ \xi(0) \\ x(0) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ V^* \\ V \end{bmatrix} (pI - Q) \cdot \mathfrak{L}\{z(t)\} \right),$$

wobei

$$B^e = [B_1^e \,\vdots\, \dots \,\vdots\, B_N^e]\,, \qquad C^e = \begin{bmatrix} C_1^e \\ \vdots \\ C_N^e \end{bmatrix}, \quad \xi = \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \vdots \\ \xi_N \end{bmatrix}, \quad \eta = \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \vdots \\ \eta_N \end{bmatrix}$$

und

$$G(p) = \left[pI - \begin{bmatrix} T^1 & T^2 C^e \\ B^e T^3 & A^e + B^e T^4 C^e \end{bmatrix} \right]^{-1}.$$

3. Stabilisierung der erweiterten Regelstrecke

3.1. *Unstörbarkeitsentwurf*

Es wird davon ausgegangen, daß für die Dynamikmatrix Q aus $R^{-1}A^*R$ keine Eigenwertverschiebung vorgenommen werden soll. Anderenfalls wäre anstelle des Filters P_{i2} im Kanal der Meßgrößen ein Filter F_i im Kanal der Stellgrößen derart einzusetzen, daß $B_i^e \cdot F_i = 0$ gilt.

Die Stabilisierung des ungestörten Teilsystems (13) und (14) durch einen Stabilisierungskompensator (7) bewirkt das Abklingen der Eigenbewegung des Systems für beliebige Anfangswerte.

3.2. *Entwurf zur Plazierung der Stör-Übertragungsnullstellen*

Aufgrund der besonderen Gestalt von V^0 kann die $(n^* + n + l, n^* + n)$-Matrix R^* als $R^* = \begin{bmatrix} I \\ 0 \end{bmatrix}$ gewählt werden. Damit vereinfachen sich die Beziehungen für die Matrizen A^e, B_i^e und C_i^e des zu stabilisierenden Systems (13) und (14) wesentlich: Sie ergeben sich aus A^*, B_i^*, C_i^* nach Weglassen der hochgestellten Null in den Definitionen von $\tilde{A}$, $\tilde{B}_i$, $\tilde{C}_i$. Im geregelten System wird zwar weiterhin das Übergangsverhalten der Regelgrößen durch die Störungen beeinflußt, jedoch gilt $r(t) \to 0$ mit $t \to \infty$ für beliebige Anfangswerte.

4. Zur Wahl der Dimensionen der Vektoren ξ_i

Für eine zufriedenstellende Erfüllung der im zweiten Entwurfsschritt zu bearbeitenden Syntheseforderungen muß eine gewisse Anzahl von Meßgrößen zur Verfügung stehen. Diese findet u. a. in der Zeilenzahl von V_i und P_{i2} ihren Niederschlag. So ist es u. U. sinnvoll, die Matrizen V_i mit einer größeren Zeilenzahl festzulegen, als das für die Erfüllung der Bedingungen (10) bis (12) erforderlich wäre. Ein damit verbundenes Anwachsen der Dimension von ξ_i ist aber nur dann gerechtfertigt, wenn die letzten r_i Spalten aus P_{i2} weiterhin eine zeilenreguläre Matrix bilden. Anderenfalls wären die zusätzlich geschaffenen Meßgrößen als Linearkombination von ξ_i darstellbar.

5. Beweise

5.1. *Unstörbarkeitsbedingungen*

(I) Wenn sich für das System (1) bis (3) und (4') Matrizen V^0, $\hat{G}_i^1$, $\hat{G}_i^2$ und V_i $(i = \overline{1, N})$ angeben lassen, die den Bedingungen (8) bis (12) genügen, so existieren gemäß (10) Matrizen N_i und N_i^* derart, daß $N_i \tilde{V}_i = M_i + L_i X$ und $N_i^* \tilde{V}_i = V_i Q$ gelten. Damit verändert sich die Bestimmungsgleichung für K_i zu

$$K_i = \begin{bmatrix} N_i^* \\ N_i \end{bmatrix} P_{i1} - \begin{bmatrix} 0 \\ L_i X \end{bmatrix} \cdot \tilde{V}_i^T \cdot (\tilde{V}_i \tilde{V}_i^T)^{-1} P_{i1}\,,$$

und es gilt

$$K_i \tilde{C}_i \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_i Q \\ M_i + L_i X \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ L_i X \end{bmatrix} \cdot \tilde{V}_i^T \cdot (\tilde{V}_i \tilde{V}_i^T)^{-1} \cdot \tilde{V}_i\,. \tag{17}$$

Wegen (9) und (10) ist damit $A^* \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V^* \\ V^0 \end{bmatrix} \cdot Q$. Andererseits ergibt sich $C_i^* \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ V^0 \end{bmatrix} = P_{i2} R_i = 0$, $(i = \overline{1, N})$. Hieraus

folgen $R^{-1}A^*R = \begin{bmatrix} A^e & 0 \\ A_0 & Q \end{bmatrix}$ und $C_i^*R = [C_i^e \,\vdots\, 0]$. Aus (8) resultiert $[0 \,\vdots\, C^{0r}]\, R = [[0 \,\vdots\, C^{0r}] \cdot R^* \,\vdots\, 0]$. Die Beziehung (11) sichert die Existenz einer Matrix Y derart, daß

$$E + \sum_{i=1}^{N} B_i \hat{G}_i^2 \hat{H}_i = V^0 Y\,,$$

wodurch sich (12) zu $\hat{G}_i^1 \hat{H}_i = V_i Y$ vereinfachen läßt. Damit ergibt sich

$$R^{-1} \cdot \left[\begin{bmatrix} 0 \\ E \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{N} B_i^* \cdot \begin{bmatrix} \hat{G}_i^1 \\ \hat{G}_i^2 \end{bmatrix} \cdot \hat{H}_i \right] = \begin{bmatrix} 0 \\ Y \end{bmatrix}.$$

Zum Beweis der Notwendigkeit der Bedingungen (8) bis (12) wird für

$$E^* = \begin{bmatrix} 0 \\ E \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{N} B_i^* \begin{bmatrix} \hat{G}_i^1 \\ \hat{G}_i^2 \end{bmatrix} \cdot \hat{H}_i$$

aus den linear unabhängigen Spalten von

$$S = [E^* \,\vdots\, A^*E^* \,\vdots\, \dots \,\vdots\, (A^*)^{n+n^*-1} \cdot E^*]$$

die Matrix $\begin{bmatrix} V^* \\ V^0 \end{bmatrix}$ gebildet. Aufgrund der Unstörbarkeit gilt nach Lemma 4.1. aus [5] $[0 \,\vdots\, C^{0r}] \cdot S = 0$, womit die Richtigkeit von (8) gezeigt ist. Offenbar existiert eine Matrix Q, so daß

$$A^* \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ V^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V^* \\ V^0 \end{bmatrix} \cdot Q\,.$$

Hieraus folgen

$$[K^1 \,\vdots\, K^2] \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ C^0V^0 \end{bmatrix} = V^* \cdot Q$$

und

$$A^0 \cdot V^0 + B^0 \cdot [K^3 \,\vdots\, K^4] \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ C^0V^0 \end{bmatrix} = V^0 \cdot Q$$

mit $K^j = \text{blockdiag}\,[K_1^j, \dots, K_N^j]$, $(j = \overline{1, 4})$.

Setzt man nun $M = [K^3 \,\vdots\, K^4] \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ C^0V^0 \end{bmatrix}$, so ergeben sich die Bedingungen (9) und (10). Offenbar existiert eine Matrix Y derart, daß $E^* = \begin{bmatrix} V^* \\ V^0 \end{bmatrix} \cdot Y$. Hieraus sind die Beziehungen (11′) und (12′) ableitbar.

(II) Die Blockdreiecksstruktur von $R^{-1}A^*R$ wird offenbar durch den Anschluß eines Reglers (7) nicht verletzt. Der Zeitverlauf von $r(t)$ bleibt damit von $z(t)$ unbeeinflußt.

5.2. *Störübertragungsmatrix*

Gemäß (9) ist

$$\begin{bmatrix} V^* \\ V \end{bmatrix} Q = \begin{bmatrix} 0 \\ AV + E \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{N} B_i^e \cdot \begin{bmatrix} V_iQ \\ M_i + L_iX \end{bmatrix}.$$

Nach (10) existieren Matrizen N_i und N_i^* derart, daß

$$N_i\tilde{V}_i = M_i + L_iX\,, \qquad N_i^* \cdot \tilde{V}_i = V_iQ$$

und somit (17) gilt.
Folglich ergibt sich

$$\begin{bmatrix} V^* \\ V \end{bmatrix} Q = A^e \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ V \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ E \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{N} B_i^e K_i \begin{bmatrix} 0 \\ H_i \end{bmatrix}.$$

Setzt man $H_i^e = P_{i2} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ H_i \end{bmatrix}$ und $H^e = \begin{bmatrix} H_1^e \\ \vdots \\ H_N^e \end{bmatrix}$, so erhält man unter Berücksichtigung der Definition von P_{i2}

$$C_i^e \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ V \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ H_i^e \end{bmatrix} = P_{i2} \begin{bmatrix} V_i \\ C_i^0V^0 \end{bmatrix} = 0 \text{ und } H^e = -C^e \begin{bmatrix} V^* \\ V \end{bmatrix}.$$

Andererseits gilt

$$(G(p))^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ V^* \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V^* \\ V \end{bmatrix} pI - \begin{bmatrix} T^2C^e \\ A^e + B^eT^4C^e \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V^* \\ V \end{bmatrix}.$$

Durch die Einführung von H^e und $\begin{bmatrix} V^* \\ V \end{bmatrix} Q$ läßt sich dieser Ausdruck in folgender Weise umformen:

$$(G(p))^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ V^* \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V^* \\ V \end{bmatrix} (pI - Q) + \begin{bmatrix} T^2H^e \\ B^eT^4H^e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ E \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \sum_{i=1}^{N} B_i^eK_i \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ H_i \end{bmatrix} \end{bmatrix}. \qquad (18)$$

Aus den Gleichungen für das geregelte System

$$\frac{d}{dt}\eta(t) = T^1 \cdot \eta(t) + T^2C^e \begin{bmatrix} \xi(t) \\ \eta(t) \end{bmatrix} + T^2H^e \cdot z(t)\,,$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \xi(t) \\ x(t) \end{bmatrix} = B^eT^3\eta(t) + (A^e + B^eT^4C^e) \cdot \begin{bmatrix} \xi(t) \\ x(t) \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} 0 \\ E \end{bmatrix} + B^e \cdot T^4H^e + \sum_{i=1}^{N} B_i^e \cdot K_i \begin{bmatrix} 0 \\ H_i \end{bmatrix} \right) \cdot z(t)$$

erhält man für die laplacetransformierten Regelgrößen

$$\mathfrak{L}\{r(t)\} = [0 \,\vdots\, C^r] \cdot G(p) \left\{ \begin{bmatrix} \eta(0) \\ \xi(0) \\ x(0) \end{bmatrix} + \left\{ \begin{bmatrix} 0 \\ E \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T^2 \\ B^eT^4 \end{bmatrix} \cdot H^e + \begin{bmatrix} 0 \\ \sum_{i=1}^{N} B_i^eK_i \begin{bmatrix} 0 \\ H_i \end{bmatrix} \end{bmatrix} \right\} \cdot \mathfrak{L}\{z(t)\} \right\} + H^r \cdot \mathfrak{L}\{z(t)\}\,.$$

Wegen (8) gilt $H^r = -[0 \,\vdots\, C^r] \cdot G(p)\,(G(p))^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ V^* \\ V \end{bmatrix}$.

Mit der Beziehung (18) ist letztlich die Richtigkeit der Darstellung von $\mathfrak{L}\{r(t)\}$ gezeigt.

6. Bemerkung zur Parameterempfindlichkeit

Bei ungenauer Kenntnis oder kleinen Schwankungen der nichtverschwindenden Parameter der Strecke und z. T. des Reglers bleiben bei fixierter Kopplungsstruktur gemäß [7] unter bestimmten Voraussetzungen selbst nichtmeßbare Regelgrößen stationär unstörbar. Läßt man jedoch neben den Parameter- auch Strukturunsicherheiten zu, so kann die stationäre Unstörbarkeit lediglich für Regelgrößen gewährleistet werden, die zugleich Streckenausgangsgrößen sind [8]. Derartige Forderungen lassen sich in das Verfahren ohne weiteres einbeziehen. Mit vorliegendem Algorithmus wurde jedoch gerade jenen Größen (z. B. Kopplungen zwischen Teilregelstrecken) besondere Beachtung geschenkt, die solchen Forderungen nicht genügen. Bei geringfügigen Abweichungen von den Modellparameterwerten sind diese Größen mit vertretbar kleinen bleibenden Regelabweichungen behaftet.

Zusammenfassung

Die vorgestellten Entwurfsverfahren für dezentrale Regler zur Unstörbarkeit bzw. Plazierung der Stör-Übertragungsnullstellen basieren auf der Berechnung gewisser (A, B)-invarianter Unterräume. Durch Einfügen eines Filters in die lokalen Meßkanäle lassen sich die Freiheitsgrade bei der Parameterfestlegung zur Einbeziehung weiterer Syntheseforderungen eliminieren.

(Fortsetzung auf Seite 706 unten)

Industrierobotersteuerungen

3.2.3. Textuelle Programmierung

Nach der Art der Programmformulierung werden „textuelle“ und „nicht textuelle“ Verfahren unterschieden. „Textuell“ bedeutet dabei, daß der Algorithmus, der die Aufgabenstellung realisiert, in Form eines lesbaren Textes erstellt und vom Programmiersystem in eine für die IR-Steuerung geeignete Form umgesetzt wird. Der Text ist eine symbolische Beschreibung von Operationen und Daten in Form von Zeichenfolgen.
Als „nicht textuell“ sind dann alle in den vorangegangenen Abschnitten genannten Verfahren zusammengefaßt. Die textuelle Programmierung einer Aufgabe bietet im Vergleich zur reinen Teach-in-Programmierung eine Reihe von Vorteilen [3.2]:

- Das Programm ist für den Programmierer und Anwender lesbar
- Das Programm läßt sich leicht ändern
- Daten sind als Variable darstellbar, deren Wert zur Ablaufzeit ermittelt und eingetragen werden kann (z. B. Sensordaten)
- Das Programm kann in lesbarer Form gespeichert werden (Dokumentation)
- Das Programm kann ohne IR (off-line) erstellt und teilweise kontrolliert und getestet werden.

Als Nachteile der textuellen Programmierung sind zu nennen:

- Das Programmiersystem ist komplexer und aufwendiger in der Realisierung (Hardware und Software)
- Die Bewegungspunkte lassen sich nicht vollständig off-line beschreiben; es ist meistens zusätzlich eine Teach-Komponente erforderlich, die on-line in einem Testlauf die fehlenden Angaben ergänzt
- Die Programmiersprache stellt höhere Anforderungen an die Qualifikation des Programmierers als einfache Tastenbedienung.

Ein Programm besteht formal aus zwei Bestandteilen:

– Objektbeschreibungen in Form von Datenstrukturen
– Befehle, die mit den Daten operieren.

Programme in einer IR-Programmiersprache unterscheiden sich von Programmen in einer normalen Rechnerprogrammiersprache dadurch, daß spezifische Datenstrukturen (z. B. Bewegungspunktbeschreibungen) und spezielle Befehle enthalten sind. Programmstrukturelemente (Eigenschaften) von Industrierobotersprachen sind im Bild 3.6 zusammengefaßt. Diese Sprachelemente dienen zur Beschreibung von

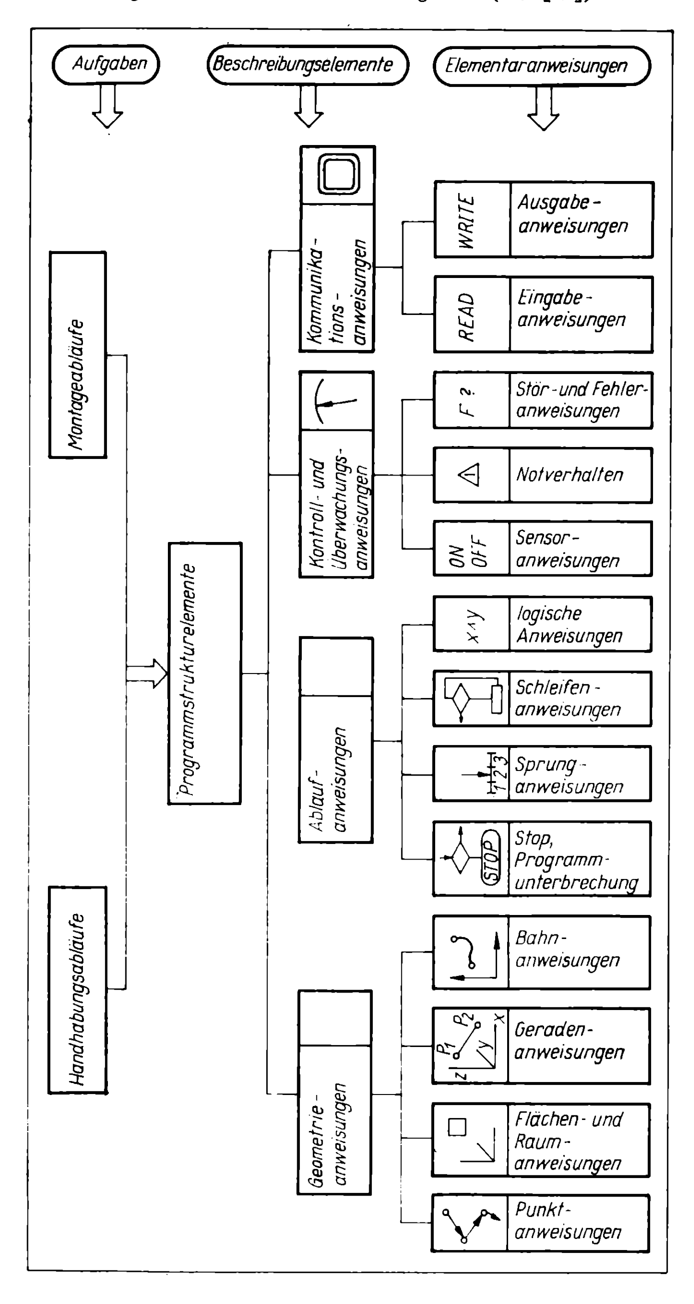
- Trajektorien (Bewegungspunkte, zeitlicher Ablauf)
- Werkstückgeometrie und Relation zwischen Objekten
- Sensordaten
- Programmstrukturen (Unterprogramme, parallele Abläufe)
- Programmablaufsteuerung
- arithmetische Operationen für Zähler u. ä.

Allgemein lassen sich die Daten (Objekte) als Elemente eines Umweltmodells auffassen, für das entweder explizit ein Programm aufgestellt (explizite Programmierung) oder aus einem Wissensspeicher generiert wird (implizite Programmierung, Anwendung einer Datensammlung, z. B. einer CAD-Datei).
Beim Entwurf einer IR-Sprache kann man prinzipiell zwei Wege gehen. Entweder wird eine existierende Rechnerprogrammiersprache um roboterspezifische Konstruktionen ergänzt, oder es wird eine gesonderte Sprache entwickelt bzw. weiterentwickelt. So gibt es Sprachen, die wie PASCAL oder BASIC aufgebaut sind und spezielle IR-Sprachen bzw. Erweiterungen von NC-Sprachen. Eine vollständige Übersicht bereits existierender Sprachen ist nur noch schwer zu erreichen, da die Anzahl schon sehr groß ist. Es ist jedoch zu erwarten, daß sich für die einzelnen Hierarchieebenen internationale Standards herausbilden werden, wie das im NC-Bereich bereits geschehen ist.

3.2.3.1. Einfache Manipulatorsprachen

Zur Programmierung der Manipulatorebene haben sich einfache Sprachen herausgebildet, die zur Beschreibung der Bewegung des Effektors auf einer durch Bewegungspunkte im Arbeitsraum des IR definierten Trajektorie geeignet sind. Dabei müssen alle

Bild 3.6. Programmstrukturelemente für IR-Programme (nach [3.1])



Tafel 3.2. IR-Sprache TIPS-II [3.3]

TIPS II

Pseudo-Kommandos		Programm-Kommandos	
Geschwindigkeitsangabe		Geometrieanweisungen	
VA	Automatikbetrieb	GP	Grobpositionierung
VK	Korrektur im Befehl	FP	Feinpositionierung
VT	Testbetrieb	BG	berechnete Grobposition
VM	Handbetrieb	BF	berechnete Feinposition
Kontrollfunktionen		LP	Linearpositionierung
SN	Schnappschuß	CP	Bahnsteuerung
LD	Laden Programm von ROM		
UM	Umschalten Programmbereich	Ablaufanweisungen	
		LB	Marke Setzen
SU	Substitution von Byte	JU	Sprung
Betriebsarten/Ablaufsteuerung		JC	Sprung bedingt
TI	Teach-in im RAM	CA	Unterprogrammaufruf (UP)
EX	Beenden Teach-in	CC	UP-Aufruf bedingt
ST	Einzelschritt-Modus	RE	UP-Rücksprung
LI	Wiederholter Einzelschritt	RC	UP-Rücksprung bedingt
CTRL/C	Halt (STOP)	DO	Programmschleife von/bis
CTRL/X	Abbruch (ABORT)	BR	Abbruch Programmschleife
Editor-Kommandos		CI	Abarbeitung Kommandofolge
B	Zeiger auf Beginn	SF	Merkbit Setzen/Rücksetzen
Z	Zeiger auf Ende	BS	Byte-Substitution
±nL	Zeiger n Zeilen vorwärts/rückwärts	SE	Suchfunktion (Monitor)
±nT	Terminalausgabe von RAM-Zeilen	SA	Abbruch Suchfunktion
	CTRL/S = STOP	SP	Start Nebenprogramm
	CTRL/Q = CONTINUE	WP	Warten auf Nebenprogramm
	CTRL/C = CANCEL	WT	Warten von Zeitfakten (0,1 s)
±nK	Streichen von RAM-Zeilen	Kontroll-Überwachungsanweisungen	
ESC	Aufruf des Editors in Betriebsart TI	WB	Warten auf Binäreingabe
ESC	ESC Abschluß eines Editor-Kommandos	BO	Binärausgabe
		GA	Greifer auf
		GZ	Greifer zu
		Sonstige Anweisungen	
		KO	Kommentarzeile

Komponenten der Steuerung und des Manipulators durch entsprechende Sprachelemente angesteuert werden können. Diese Sprachebene realisiert damit eine virtuelle (programmierbare) Maschine, deren Befehle in Realzeit (on-line) den IR steuern. Verglichen mit der Rechnerprogrammierung entspricht das Verfahren der Assemblerprogrammierung, in der alle Funktionen des Rechners realisiert werden können (Maschinenbefehle).
In Abhängigkeit von der Trajektorienbeschreibung lassen sich zwei grundlegende Konzepte zur Programmierung auf der Manipulatorebene realisieren:

- Trajektorienbeschreibung in Roboterkoordinaten
- Trajektorienbeschreibung in Umweltkoordinaten.

Mischformen entstehen dann, wenn Roboterachsen mit Umweltkoordinatenachsen übereinstimmen (z. B. IR mit kartesischem oder zylindrischem Arbeitsraum).
Die *Programmierung in Roboterkoordinaten* ist als Erweiterung der Teach-in-Programmierung anzusehen. Das Programm bleibt auch bei der Programmerstellung in Textform weitgehend vom konkreten IR-Typ abhängig. Arbeitspunkte der Trajektorie werden interaktiv registriert. Werden Punkte mehrfach benötigt, so müssen sie auch mehrfach aufgenommen werden (diese Feststellung gilt nicht für alle Programmiersysteme; so ist z. B. bei der IRS-600 die Definition einer begrenzten Anzahl Festpositionen möglich).
Das Programmiersystem ist relativ einfach zu realisieren, da die Trajektorienpunkte bereits als Sollwerte für die einzelnen Achsen vorliegen. Während der Teach-in-Phase werden eingestellte Punkte in den Speicher eingetragen und während der Programmausführungsphase vom Interpreter mit zusätzlichen Angaben zur Trajektorie (Geschwindigkeit, Überschleifparameter u. a.) aus dem Speicher ausgelesen. Die Trajektorienplanung ist auf eine einfache Interpolation in Gelenkkoordinaten begrenzt. Sie übergibt die berechneten Punkte zwischen den eingegebenen Stützpunkten zu definierten Zeiten an die Achsregelung, die die Sollwerte entsprechend einstellt.
Als Beispiel für die Vielzahl von existierenden einfachen Programmiersystemen mit Roboterkoordinaten soll hier die Steuerung RCS 60 für die IR ZIM-60 und ZIM-10 dienen [3.3]. Die verfügbaren Befehle sind in Tafel 3.2 zusammengestellt.

msr 7680 Dr. rer. nat. *J. Hübener*, AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Institutsteil Berlin

(wird im Heft 3/1984 fortgesetzt)

(Fortsetzung von Seite 696)

[18] *Nishi, S.:* Application of Kalman Filtering to NNSS. In japanisch. Vortragsveranstaltung der Japanischen Schiffahrts-Gesellschaft Tokyo 1974.
[19] *Bunke, H.:* Gewöhnliche Differentialgleichungen mit zufälligen Parametern. Berlin: Akademie-Verlag 1972.
[20] *Kempe, V.:* Theorie stochastischer Systeme. WTB Nr. 136, Berlin: Akademie-Verlag 1975.
[21] *Hartmann, H. L.:* Stochastische Prozesse in Nachrichtensystemen. Lehrbrief. TU Braunschweig 1980. Und: Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz) 31 (1978) und 32 (1979). msr 7783

(Fortsetzung von Seite 704)

Insbesondere läuft die Plazierung der Nullstellen auf den Polen des Störmodells im Fall einer Stabilisierung auf die stationäre Unstörbarkeit hinaus. Die Meßbarkeit der betrachteten Regelgrößen ist nicht erforderlich.

Literatur

[1] *Roppenecker, G.; Preuß, H.-P.:* Nullstellen und Pole linearer Mehrgrößensysteme. Regelungstechnik 30 (1982), S. 219–225 und S. 255–263.
[2] *Preuß, H.-P.:* Störungsunterdrückung durch Zustandsregelung. Regelungstechnik 28 (1980), S. 227–232 und S. 266–271.
[3] *Preuß, H.-P.:* Stationär perfekte Zustandsregelung. Regelungstechnik 28 (1980), S. 333–338.
[4] *Weihrich, G.:* Mehrgrößen-Zustandsregelung unter Einwirkung von Stör- und Führungssignalen. Regelungstechnik 25 (1977), S. 166–172 und S. 204 bis 209.
[5] *Wonham, W. M.:* Linear Multivariable Control. A Geometric Approach. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1974.
[6] *Biedermann, D.:* Regulation and Internal Stabilization in Linear Multivariable System Using Dynamic Compensation. EIK 18 (1982), S. 451–459.
[7] *Biedermann, D.:* Strukturierung eines robusten dezentralen Störgrößenkompensators. msr 25 (1982) 11, S. 639–640.
[8] *Francis, B. A.; Wonham, W. M.:* The Internal Model Principle of Control Theory. Automatica 12 (1976), pp. 457–465. msr 7850

Grenzzone der Negativen Binomischen Verteilung

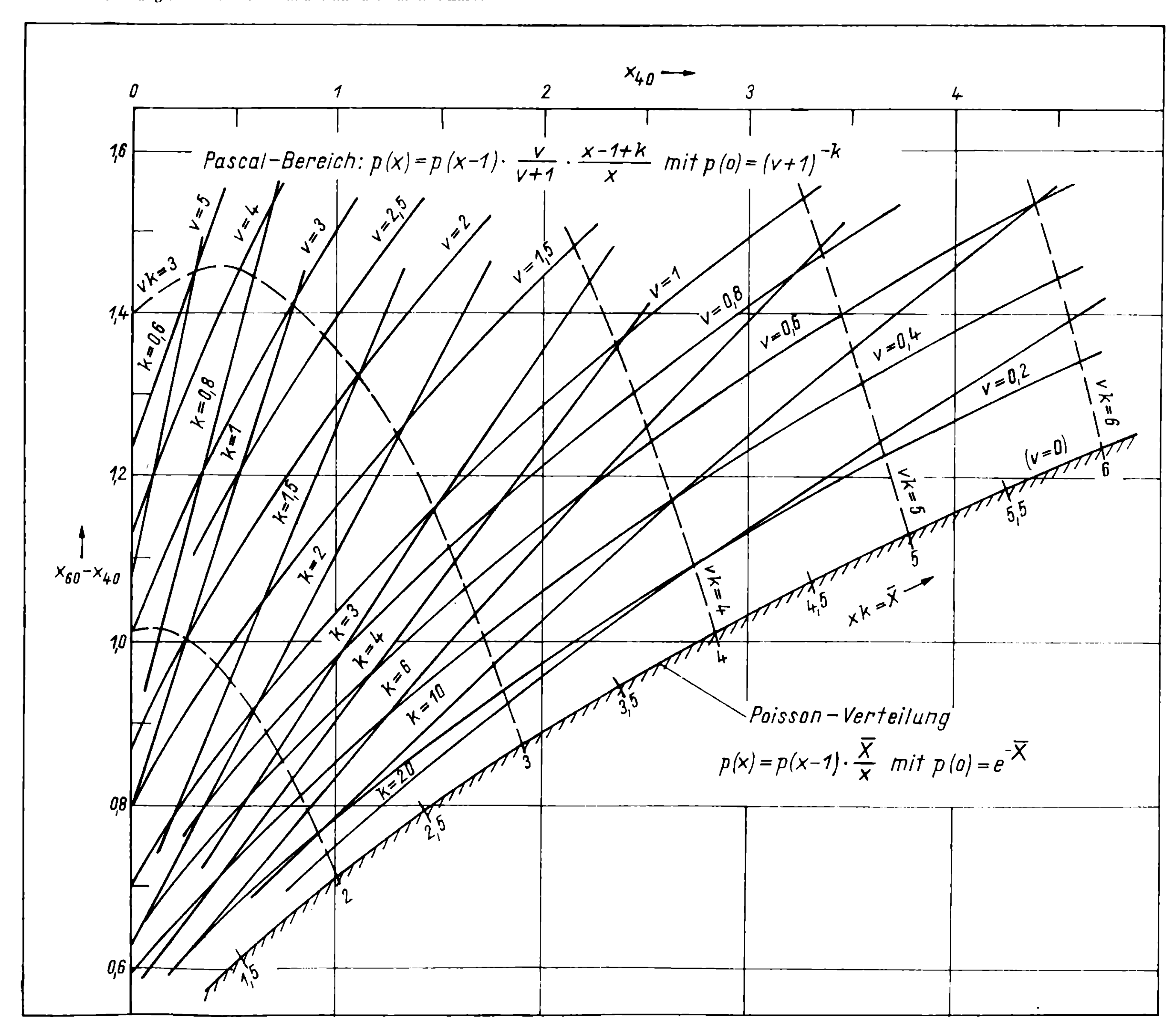
IA 1.1.0.

Im Anschluß an die Vorschläge [1] für statistische Untersuchungen soll noch speziell auf die Verhältnisse im „Fall seltener Ereignisse" eingegangen werden. Dazu wurde ein Diagramm zur Bestimmung der Parameter v und k nochmals in größerem Maßstab berechnet (Bild 1). Der Komplex der Kurvenscharen sei dabei mit dem Kurzbegriff „Pascal-Bereich" bezeichnet, wo die im Bild oben angeführten Rekursionsformeln für die Verteilungen $p(x)$ gelten. Beim Grenzübergang $v \to 0$ ($v \cdot k =$ konst.) erhält man (wie bei der normalen binomischen Verteilung auch) den Spezialfall der „Poisson-Verteilung" [2]. Die zugehörige schraffierte Grenzkurve ist nach dem Argument $v \cdot k = \overline{X}$ beziffert; die Poisson-Verteilung wird ja eindeutig durch den arithmetischen Mittelwert $\overline{X}$ definiert, und die Rekursionsformeln haben die Form wie im Bild 1 unten. Im Pascal-Bereich dagegen muß man davon ausgehen, daß der Mittelwert $\overline{X}$ allein keinen eindeutigen Rückschluß auf den Verlauf der konkreten Verteilung gestattet, wie auch die mit im Bild 1 eingezeichneten gestrichelten Hilfslinien $v \cdot k =$ konst. veranschaulichen.

Zunächst sei folgendes Beispiel betrachtet: An einer Anlage mit einer größeren Anzahl gleicher, aber (ohne gegenseitige Beeinflussung) zu unterschiedlichen Zeiten arbeitender Aggregate wurden über einen längeren Zeitraum die Betriebszustände in unregelmäßigen Zeitabständen registriert. Bei insgesamt $N =$ $= 204$ solcher Beobachtungen ergaben sich für jeweils x gleichzeitig in den betreffenden Zeitpunkten stillstehende Aggregate die nachstehenden Klassenhäufigkeiten $z(x)$:

x	0	1	2	3	4	5	6
$z(x)$	50	59	57	28	8	2	0
theoretisch	43	67	52	27	10	3	1

Bild 1. Bestimmung der Parameter v und k aus der Summenkurve



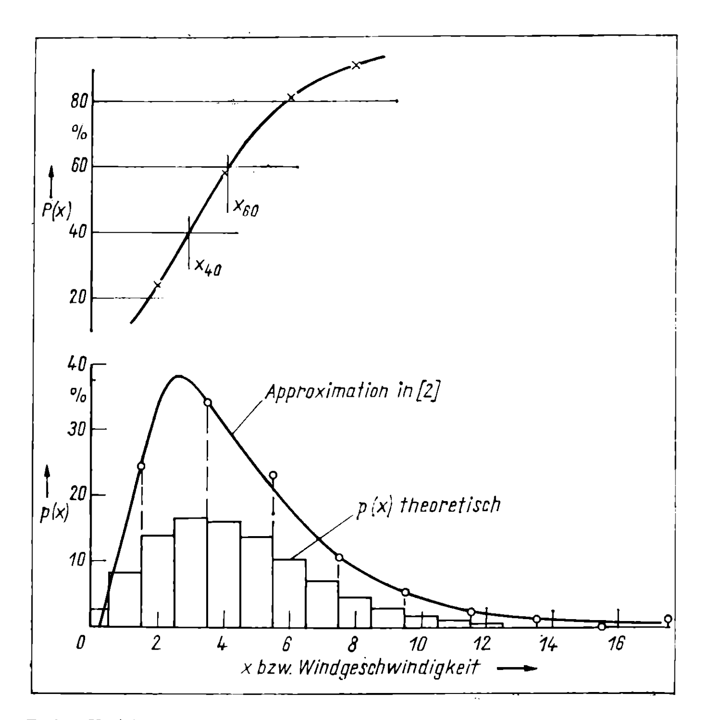


Bild 2. Verteilungen im Beispiel 2
× konkrete Summen $P(x)$, ○ Grunddaten n_j [2]; $N = 100$

Gegenübergestellt sind in der letzten Zeile die theoretischen Werte, die nach dem in [1] vorgeschlagenen Verfahren bestimmt wurden. Dazu wurde zunächst anhand der normierten Werte $z(x)/N$ die „Summenkurve" gebildet, aus der sich die Bezugswerte $x_{40} = 0{,}58$ und $x_{60} = 1{,}20 \ldots 1{,}22$ ablesen ließen. Im ersten Fall ergab sich im Bild 1 ziemlich genau auf der Grenzkurve ein Punkt $v \cdot k = \overline{X} = 1{,}55$. Damit wurden rekursiv nach der Poisson-Formel die Werte $p(x)$ und danach unter Multiplikation mit N und Abrundung auf ganze Zahlen die theoretisch wahrscheinlichen Klassenhäufigkeiten berechnet. Nur geringfügig würde hiervon die Lösung einer Kontrollrechnung mit $x_{60} = 1{,}22$ und entsprechend näherungsweise $v = 0{,}05$ und $v \cdot k = 1{,}55$, also $k = 31$ abweichen. Beidemal erhält man beim „Chi-Quadrat-Test" [2] mit 3 Freiheitsgraden das hohe Signifikanzniveau von 0,4. Die Anwendung der Poisson-Formel ist im vorliegenden Fall also gerechtfertigt.

Als Gegenbeispiel diene das im Bild 2 wiedergegebene Diagramm aus [2] (dort Bild 67), das die aus einer bestimmten Meßreihe klassenweise zusammengefaßten Häufigkeiten von Windgeschwindigkeiten zeigt, zusammen mit der dazu formalmathematisch errechneten Kurve. Physikalisch befriedigt diese nicht, denn sie erfaßt nicht das Gebiet der Windstärke 0 (nach *Beaufort*) und suggeriert dafür einen überproportionalen Anteil der Windstärke 2. Bereits der einfache Ansatz einer Poisson-Verteilung mit einem sich unter bestimmten Abschlägen direkt aus den Grunddaten berechenbaren Mittelwert $\overline{X} = 4{,}8$ hätte schon zu einer besseren Aussage geführt, wenn auch noch merkliche Abweichungen von der tatsächlich wahrscheinlichen Verteilungsform zu verzeichnen sind. Deshalb wurden die Grunddaten nochmals nach dem Verfahren in [1] behandelt. Als Klasseneinteilung x wurde dabei die ganzzahlige Bezifferungsfolge der Windgeschwindigkeiten in m/s übernommen; eine Klassierung nach dem Muster (n_j) des Originals ist unzweckmäßig, da dort die erforderliche Klasse $x = 0$ herausfällt. Dieser Umstand war bei der Bildung der Summenkurve zu berücksichtigen: Die Häufigkeiten n_j im Original umfassen jeweils die beiden benachbarten Klassen x und demgemäß waren im Bild 2 oben die konkreten Summenwerte $P(x)$ stets um eine halbe Einheit versetzt in der nächsthöheren Klasse einzutragen. Als Bezugswerte ergaben sich danach $x_{40} = 2{,}90$ und $x_{60} = 4{,}13$. Mit den gemäß Bild 1 zugehörigen Parametern $k = 10$ und $v = 0{,}43$ errechneten sich somit die theoretischen Klassenhäufigkeiten $p(x)$, die als Stufendiagramm mit in das Bild 2 eingezeichnet wurden. Von einer Zusammenfassung je zweier Klassen wie im Original wurde Abstand genommen, da sie zwar gute Übereinstimmung zwischen den experimentellen und den theoretischen Zahlenfolgen beweisen, aber doch das eigentliche Informationsziel beeinträchtigen würde.

Literatur

[1] *Hilscher, K.:* Zur Negativen Binomischen Verteilung (Pascal-Verteilung). msr, Berlin 26 (1983) 7, S. 395–396.

[2] *Mitropolskij, A. K.:* Technika Statističeskich vyčislenij (Technik statistischer Berechnungen) Moskau: Staatsverlag für physikalisch-mathematische Literatur, 1961.

msr 7937 Dr.-Ing. *K. Hilscher*, Berlin

Die Redaktion wünscht ihren verehrten Lesern und Autoren im In- und Ausland ein frohes und gesundes Weihnachtsfest sowie ein glückliches und erfolgreiches Jahr 1984.

*

Редакция поздравляет своих уважаемых читателей и авторов за рубежом и в стране с наступающим Новым 1984 годом и желает больших успехов, доброго здоровья и личного счастья.

*

The msr editorial staff wishes its honoured foreign and native readers and authors a sound and merry Christmas as well as a happy and successful year 1984.

*

La rédaction de msr souhaite à ses étrangers et indigènes lecteurs ét auteurs honorés une saine et joyeuse fête du Noël ainsi qu'une bonne année 1984 couronnée de succés.

III. Bilaterales Symposium SR Rumänien — DDR „Ökonomische Kybernetik" Bukarest 1983

Im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit der DDR und der SR Rumänien finden seit 1979 im Zweijahres-Turnus bilaterale Symposien zur Theorie und Praxis der ökonomischen Kybernetik statt — jeweils alternierend in beiden Ländern (1979 Bukarest, 1981 Rostock, 1983 Bukarest). Das Ziel der Symposien besteht in der Vermittlung und der Diskussion neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und praktischer Erfahrungen zur Modellierung, Optimierung und Automatisierung ökonomischer Prozesse, ihrer Leitung und Planung im Rahmen der Volkswirtschaft, der Zweige und Betriebe zur Erhöhung der Effektivität. Inhaltlich wird das Profil der Veranstaltung durch die Gliederung in die Sektionen

- Makroökonomische Modelle
- Mikroökonomische Modelle

geprägt. Organisatorisch ist bemerkenswert, daß im Interesse einer engen Theorie-Praxis-Verbindung ein Teil der Beratungen in wissenschaftlichen Instituten und der andere Teil in Rechenzentren von Betrieben, Kombinaten und Ministerien durchgeführt wird. Das Programm des III. Symposiums umfaßte insgesamt 61 Plenar-, Haupt- und Sektionsbeiträge zu den Themenkomplexen:

- Aufbau und Nutzung volkswirtschaftlicher Reproduktionsmodelle
- Verfahren und Ergebnisse der Optimierung industrieller Produktionsprozesse
- Gestaltung von Modellen zur rationellen Organisation von Transportprozessen
- Konzeptionen für Planungsmodelle in der Landwirtschaft
- Nutzung rechnergestützter Modelle in Forschung, Entwicklung und Produktionsvorbereitung
- Inhalt und Methoden der Modellierung sozialer Prozesse
- Entwicklung und Realisierung automatischer Leitungs- und Informationssysteme in Betrieben und Zweigen
- Weiterentwicklung algorithmischer und simulativer Verfahren und ihre rechentechnische Umsetzung.

In den beiden Plenarvorträgen wurden von *M. Manescu* (Akademie der Wissenschaften, Bukarest) die Systemauffassung in den Werken von *Marx* und von *S. v. Känel* (Technische Universität Dresden) die Praxis der Anwendung kybernetischer Modelle in Betrieben und Kombinaten der DDR behandelt.
Die Vorträge und Diskussionen ließen insbesondere Fortschritte in der Anwendungsbreite und dem Wiederverwendungsgrad von Modellen, Tendenzen zu komplexen Modellsystemen, eine stärkere Orientierung auf die automatisierte und/oder optimierte operative Steuerung von Produktions- und Transportprozessen sowie die Nutzung von fuzzy-Methoden deutlich werden.
Die weiteren DDR-Beiträge von *K.-J. Richter* (Verkehrshochschule „Friedrich List" Dresden) zur Methodologie der Transportsystemanalyse, von *G. Schulze* (Wilhelm-Pieck-Universität Rostock) zur Modellierung von Hafenbetriebsprozessen von *H. Schultze* (Humboldt-Universität zu Berlin) zur Systemanalyse und Modellierung makroökonomischer Prozesse und von *H.-G. Lauenroth* (Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin) zur Systemanalyse von Innovationsprozessen auf dem Gebiet der flexiblen Automatisierung fanden eine lebhafte Resonanz. Sie werden mit anderen ausgewählten Beiträgen des Symposiums in der rumänischen Fachzeitschrift „Economic Cybernetics and Economic Computations-Studies and Research" publiziert.
Die Zusammenarbeit beider Länder über Theorie und Anwendung ökonomisch-kybernetischer Modelle wird im Ergebnis des Symposiums langfristig weitergeführt und auf eine höhere Stufe gehoben. Hierzu dienen die Schaffung eines bilateralen Programmkomitees und die Verstärkung der wechselseitigen und gemeinsamen Publikations- und Projekttätigkeit.
Das IV. Bilaterale Symposium DDR—SR Rumänien „Ökonomische Kybernetik" wird 1985 in Rostock veranstaltet.

msr 7954 *H.-G. Lauenroth*

3. IFAC/IFORS-Symposium „Große Systeme — Theorie und Anwendungen"

Gemeinsam von den internationalen Vereinigungen IFAC (International Federation of Automatic Control) und IFORS (International Federation of Operational Research Societies) veranstaltet und vom Forschungsinstitut für Systemtechnik der Polnischen Akademie der Wissenschaften glänzend organisiert fand vom 11. bis 15. Juli 1983 in Warschau das 3. Internationale Symposium zur Theorie Großer Systeme und deren Anwendungen statt. Die ersten beiden Veranstaltungen dieser Art wurden 1976 in Udine/Italien und 1980 in Touluse/Frankreich durchgeführt; das 4. Symposium soll in 3 Jahren in der Schweiz stattfinden. In Warschau fanden sich insgesamt 148 Teilnehmer aus 22 Ländern zusammen, um bei 8 Plenarvorträgen, 100 Fachvorträgen in 19 Technischen Sitzungen und bei der Vorstellung von 2 Fallbeispielen eigene wissenschaftliche Ergebnisse darzulegen, Ergebnisse und Konzeptionen der Fachkollegen zu diskutieren oder zumindest für eine spätere Auswertung zu registrieren. Die Delegation der DDR mit 10 Teilnehmern, 8 Fachvorträgen und einem Plenarvortrag konnte dabei den in unserem Land vorhandenen wissenschaftlichen Stand wohl überzeugend unter Beweis stellen. Die äußeren Gegebenheiten im Palast der Kultur und Wissenschaft der polnischen Hauptstadt und die entspannte Atmosphäre des Hochsommers boten dazu die besten Möglichkeiten. Der Rahmen des Symposiums war sehr weit gesteckt. Wenn auch das Gebiet der Großen Systeme seine wissenschaftlichen Wurzeln in der technischen Kybernetik hat (vor allem Zustandstheorie, Stabilitätstheorie) und zur Charakterisierung des eigenständigen Inhalts die Kennworte „Theorie hierarchischer Steuerungen/Optimierungen" sowie „Entscheidungen bei Unsicherheit" unbedingt dazugehören, so zeigen allein die Überschriften der 17 Fachsektionen, welchen Umfang Theorien, insbesondere aber Anwendungsbereiche inzwischen angenommen haben: Hierarchische Systeme, dezentralisierte Steuerungen, Aggregation und Dekomposition, Entscheidungstheorie, Stabilität, Optimierung, Modellierung und Simulation, Identifikation, Strukturprobleme, Produktionsplanumg, Leitungssysteme, sozialökonomische Systeme, Energiesysteme, Kraftwerke, Wassersysteme, verschiedene andere Anwendungen sowie schließlich eine Sondersektion zur Anwendung der Theorie unscharfer Mengen. Zwei der Plenarvorträge waren zudem Systemen verteilten Parametern gewidmet, so daß sich erkennen läßt, daß das Gebiet der großen Systeme in der Tat ein sehr „großes" ist.

Auch bei den Sektionen, in denen Anwendungen der Theorie diskutiert wurden, wurde deutlich, daß die Aktionsfelder groß bemessen waren — die Untersuchungen hatten Probleme der regionalen Entwicklung und Planung (Gebietsplanung, Kommunikationsplanung), solche im nationalen Rahmen (nationale Energieplanung, aber beispielsweise auch: Planungsmodell für die Entwicklung der Hochschulausbildung in der VR China oder: Planung im brasilianischen Telefonnetz bis zum Jahr 2000) bis hin zur Behandlung zwischennationaler Probleme (internationale Zusammenarbeit bei der Energieerzeugung; theoretische Durchdringung von Konfliktsituationen im Fischfang) zum Gegenstand.
Erkennen läßt sich daraus, wie stark doch Verfahren und Methoden, entweder im Bereich der technischen Kybernetik entwickelt oder zumindest zum wichtigen Handwerkszeug der Ingenieure gehörend (Zustandstheorie, Graphenverfahren, ein- und mehrzielige Optimierungsverfahren, Spieltheorie) heute in Bereichen angewandt werden, die über das Gebiet der Technik weit hinausgehen. Daß der Bogen weit gespannt ist und daß in der stark mathematisierten Behandlung nichttechnischer, d. h. gesellschaftswissenschaftlicher Gegebenheiten wohl auch Unterschiede zwischen verschiedenen Ländern mit gleichen ideologischen Grundpositionen bestehen, zeigte nicht zuletzt ein Plenarvortrag eines sowjetischen Fachkollegen aus dem Bereich der Ökonomie, der auf der Basis einer mathematischen Fassung des Marxschen Wertgesetzes zu interessanten Schlußfolgerungen hinsichtlich der Gestaltung von Planungsprozessen gelangte.
Die Darlegung von Fallbeispielen aus dem Bereich der japanischen Stahlindustrie, nämlich die zielgerichtete Ausnutzung menschlicher Erfahrungen bei der Entscheidungsfindung sowie die Einrichtung von Energie-Dispatcherzentralen zur operativen Lenkung traf sich andererseits völlig mit den in der DDR erarbeiteten Konzeptionen, Erkenntnissen und Erfahrungen. Damit läßt sich zusammenfassend einschätzen: Das 3. Symposium zur Theorie und Anwendung großer Systeme hat einen wertvollen und wichtigen Beitrag zur theoretischen und praktischen Beherrschung wichtiger industrieller und nichtindustrieller Probleme geleistet.
In den zahlreichen Kontaktmöglichkeiten der Teilnehmer aus den verschiedensten Ländern und Gesellschaftsordnungen boten sich darüber hinaus viele Möglichkeiten, auf der Ebene der Wissenschaftler die wichtigen weltbewegenden Fragen zu diskutieren.

msr 7850 *G. Brack*

Probleme der Automatisierung von Projektierung und Konstruktion

Im Februar 1983 wurde in Leningrad die 2. Allunionstagung zu Fragen der Automatisierung von Projektierung und Konstruktion durchgeführt. An der Organisation der Veranstaltung waren das Ministerium für Hochschulwesen und die AdW der UdSSR beteiligt. Mehr als 190 Vorträge und Mitteilungen wurden in folgenden Sektionen zu Gehör gebracht und erörtert:

- System- und theoretische Fragen der Erarbeitung und Anwendung von Systemen der Automatisierung der Projektierung (SAPr)
- Methodologische und Programm-Ausrüstung von SAPr
- SAPr im Maschinenbau
- SAPr technologischer Prozesse
- SAPr von Steuerungssystemen
- SAPr in Elektronik und EDV
- SAPr in Energetik und Bauwesen
- SAPr für die Ausbildung.

Die gehaltenen Vorträge spiegelten die grundlegenden Forschungslinien auf dem Gebiet der Automatisierung von Projektierung und Konstruktion wider. Sie berührten sowohl praktische Fragen der Einführung von SAPr als auch theoretische, programmäßige, informationstechnische, linguistische und technische Aspekte.
Eine Analyse der Arbeiten auf diesem Gebiet zeigt, daß in den Jahren 1987 bis 1990 in solchen Zweigen, wie Radioelektronik, Flugwesen, Schiffbau und Maschinenbau mehr als die Hälfte aller Projektdokumentationen mit Hilfe der EDV erarbeitet werden.
Ein gesonderter Übersichtsbeitrag zum Stand der Entwicklung von SAPr wurde nicht gehalten, jedoch verdient in dieser Richtung der Vortrag von *V. A. Žožikašvili* und *B. S. Igurov* „Datenfernübertragungsnetze für SAPr" Aufmerksamkeit. In dieser Arbeit wurden einige perspektivische Lösungen zur Weiterführung der Forschungen auf den Linien:

- Erhöhung der Bedienfreundlichkeit beim Dialog Konstrukteur — EDV-Anlage
- Wiederverwendbarkeit erarbeiteter Systeme
- Erhöhung der Zuverlässigkeit von Hard- und Software der SAPr
- Vergrößerung der Anzahl von Spezialisten auf dem Gebiet von SAPr
- Erarbeitung spezieller ökonomischer Hebel zur Stimulierung der Entwickler und Nutzer von SAPr

vorgeschlagen.
Für höhere Effektivität bei der praktischen Einführung automatisierter Projektierungsmethoden wird die Schaffung eines Datenfernübertragungsnetzes für SAPr empfohlen. Die erreichbaren Vorteile dieser Maßnahme sind folgende:

- Zugriff zu einer zentralen Programmbank für alle Nutzer
- Möglichkeit der rationellen Nutzung kostenintensiver Technik
- Möglichkeit der Auswahl der für eine konkrete Aufgabe am besten geeigneten SAPr durch den Anwender.

Die Autoren meinen, daß Erfahrungen bei der Schaffung von automatisierten Systemen zur Abfertigung von Flugpassagieren als wissenschaftlich-technischer Verlauf dienen können.
Ein großer Teil der Vorträge war der Forschung auf den Gebieten der Automatisierung von Projektierung und Konstruktion von mikroelektronischen Apparaturen, Schiffen unterschiedlicher Bestimmung, Flugapparaten und Bordsystemen und der maschinellen Projektierung komplizierter Systeme gewidmet.
In einer Reihe von Vorträgen wurden SAPr für Gebäude in Großplattenbauweise, Rohrleitungssysteme, robotertechnische Systeme, elektrische Maschinen, optoelektronische Geräte und SAPr für die Ausbildung beschrieben. Darin wurden Fragen der Modellierung von rechentechnischen Anlagen, der Synthese komplizierter Steuersysteme, der semantischen Programmierung, der Automatisierung ergonomischer Projektierung, von Datenbanken usw. behandelt.
Eine Analyse der Tagungsmaterialien zeigt, daß die SAPr immer größere Anwendung in verschiedensten Zweigen von Wissenschaft und Technik finden. Zweifellos werden sich weitere Erfolge ihrer Vervollkommnung und Entwicklung auf allen Gebieten der Volkswirtschaft zeigen.

msr 7900 *V. M. Goruchin*

Modellierung und Simulation von Produkttionsprozessen
Von einem Autorenkollektiv aus der DDR und der UdSSR. Herausgegeben von *A. A. Vavilov*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 380 Seiten, 146 Bilder, 36 Tafeln, 52,— Mark.
Bestell-Nr. 5531059

Modellierung und Simulation gewinnen rasch immer mehr an Bedeutung. Dies wird überzeugend verdeutlicht durch die Entwicklung der Systemanalyse. Sowohl für die Anwender wie für die Entwickler dieser Methode gibt es neben Einzelpublikationen und Beiträgen auf Tagungen nur wenige Darstellungen nach neuestem Stand in Buchform. Es muß daher sehr begrüßt werden, wenn der VEB Verlag Technik mit o. g. Buch eine monografische Darstellung neuester Ergebnisse auf dem Gebiet der Modellierung und Simulation von Produktionsprozessen, insbesondere Fertigungs- und Fertigungssteuerungsprozessen, herausgebracht hat. Der Schwerpunkt liegt dabei auf diskreten Prozessen. Der Leser wird mit neuen Ergebnissen aus der UdSSR wie aus der DDR vertraut gemacht. Die einzelnen Kapitel sind wenig untereinander verflochten; dadurch kann praktisch jedes der einzelnen Kapitel getrennt ausgewertet werden. Das ist insbesondere für den Anwender von Bedeutung, der die Ergebnisse unter seinem Aspekt auswerten und für die weitere eigene Arbeit gezielt nutzen will. Im ersten Kapitel werden Grundlagen gebracht, wobei mit graphentheoretischen Mitteln gearbeitet wird und der Übergang zu Datenstrukturen zur EDV führt. Das 2. Kapitel ist methodologischen Fragen gewidmet, die sich auf technologische Steuerobjekte diskreter Prozesse beziehen. Die Kapitel 3 und 4 enthalten die Modellierung und Simulation technologischer Systeme sowie Erfahrungen im Werkzeugmaschinenbau. Kapitel 5 betrifft dynamische Simulationsmodelle zur Untersuchung von operativen Steuerungsprozessen in diskreten Produktionsprozessen. Es ist erfreulich, daß auch der Nutzung mathematisch-analytischer Mittel in der Simulation ein Kapitel gewidmet wurde, nämlich das 6. Kapitel, mit Anwendungen wiederum in der Fertigungstechnik. Die kapitelweise gebrachten Anhänge mit Angaben zu konkreten Beispielen, die oft deutlich über Demonstrationsbeispiele in Lehrbüchern hinausgehen und als praxisrelevant bezeichnet werden können, prägen das Buch mit. Auch die so angeordneten einzelnen Literaturverzeichnisse lassen schnell das Eindringen in die Literatur zu, die für eine bestimmte Problematik zuerst von Interesse ist. Hervorgehoben werden muß die gute Übersetzung und die Redaktion dieser Ausgabe, die in der Hand von *M. Frank* lag. Als Wegweiser sollte der Leser unbedingt die Einleitung sorgsam studieren.
Es gibt zur Zeit keine vergleichbare Publikation in deutscher Sprache, die das o. a. Gebiet in abgegrenzter Breite und ausgewogener Tiefe behandelt.
In gleichem Maße werden sowohl die Anwender des Arbeitsmittels „Modellierung und Simulation“ als auch die Experten, die dieses Arbeitsmittel weiterentwickeln, mit großem Gewinn für die eigene weitere Arbeit das Buch nutzen können.

B 1786 *G. Schwarze*

Statistische Methoden für die Zuverlässigkeitsanalyse. Von *G. Härtler*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.
230 Seiten, 48 Bilder, 17 Tafeln, 24,— Mark.
Bestell-Nr. 5531905

Der gegenwärtige Stand der modernen Produktion ist durch steigende Anforderungen an Qualität und Zuverlässigkeit der Erzeugnisse gekennzeichnet. Die Bewertung der Erzeugnisqualität erfordert neben der Berücksichtigung spezifischer Qualitätsparameter ebenso den Nachweis der Zuverlässigkeit. Hierfür gilt es, effektive und praxisrelevante — den großen Stückzahlen der Produktion entsprechende — statistische Methoden für die Auswertung der Ergebnisse von Zuverlässigkeitsprüfungen einzusetzen.
Die zur Zeit verfügbaren Buchpublikationen über Zuverlässigkeit gehen nicht oder nur unvollkommen auf das wachsende Interesse der Praxis nach handhabbaren und ingenieurtechnisch aufbereiteten statistischen Auswertemethoden ein. Im Gegensatz hierzu bietet die Theorie, die vorzugsweise dem Schrifttum der mathematischen Statistik zu entnehmen ist, verschiedenartige Modellansätze, Konzepte und Methoden an. Diese Literatur ist für den Praktiker meist theoretisch zu anspruchsvoll, da häufig zu umfangreich und wenig auf die Belange seiner Alltagsarbeit ausgerichtet.
Aus dieser Diskrepanz resultiert die Zielstellung der Autorin, eine zusammenfassende Darstellung der wichtigsten, vorzugsweise in den letzten 20 Jahren entstandenen, statistischen Methoden für die praktische Zuverlässigkeitsanalyse und die Auswertung von Lebensdaueruntersuchungen bereitzustellen.
Während die Kapitel 1 bis 3 der Heranführung an das Stoffgebiet, der Einführung von Wahrscheinlichkeitsmodellen hohen Allgemeingrades sowie der Darlegung der Grundgedanken statistischer Methoden dienen, enthalten die Kapitel 4 bis 7 ausführliche Darstellungen der gebräuchlichen Wahrscheinlichkeitsmodelle. Hier findet man jeweils Ausführungen zur grafischen Datenanalyse, zur Parametereinschätzung und zu speziellen Testverfahren. Das Kapitel 8 beinhaltet die Schätzung der Ausfallrate, die Berechnung von Toleranzgrenzen und Annahmeprüfpläne. Ein Tabellenanhang ergänzt die Stoffdarstellung.
Das Buch ist methodisch gut aufgebaut. Ausgewählte, praxisorientierte Beispiele ermöglichen dem Leser eine Vertiefung des vermittelten Stoffes. Das Verständnis des Buches erfordert mathematische Vorkenntnisse, wie sie an technischen Studieneinrichtungen vermittelt werden. Studierende und in der Praxis tätige Ingenieure können dem Buch zahlreiche Anregungen und Lösungsbeispiele entnehmen. Als Lehrbuch bzw. Nachschlagebuch schließt diese Publikation eine Lücke im Bücherangebot und wird seinen Lesern zukünftig eine wertvolle Hilfe sein.

B 1833 *G. Härtig*

Störfestigkeit in der Nachrichten- und Meßtechnik. 1. Auflage. Von *F.-H. Lange*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 190 Seiten, 60 Bilder, 4 Tafeln, 19,— Mark.
Bestell-Nr. 5530750

Im Vorwort nennt der Autor ein Motiv für das Zustandekommen seines neuesten Buches, das in der Reihe „Informationselektronik“ erschienen ist: Die mit fortschreitender Aufspaltung der Informationstechnik in vielfältige Spezialdisziplinen verknüpfte Gefahr, daß der Überblick über methodische Aspekte des Gesamtgebietes zunehmend verlorengeht. Ein solches Vorhaben bedarf tatsächlich eines fundierten Überblicks. Der Autor, aus jahrzehntelanger Lehr- und Forschungstätigkeit schöpfend und durch seine Publikationen zur Signal- und Systemtheorie weithin bekannt, verfügt wie wohl selten ein Fachmann über diesen Überblick, gepaart mit dem Vermögen, auch relativ komplizierte Zusammenhänge plausibel darzustellen. Dadurch entsteht eine weitgehend umfassende und einheitliche Darstellung von Ergebnissen der Signal-, System-, Schaltungs- und Informationstheorie sowie der Übertragungs-, Ortungs-, Fernseh- und Meßtechnik unter dem übergeordneten Aspekt der Störfestigkeit.
Der Begriff der Störfestigkeit wird hier verstanden als eine Eigenschaft von Signalen und Systemen, bei einwirkenden Störungen oberhalb bestimmter Grenzen zwar auszufallen, nach deren Verschwinden aber wieder funktionstüchtig zu sein. Irreversible Ausfälle werden dagegen dem Gebiet der Zuverlässigkeit zugerechnet.
Damit bleiben die Betrachtungen zugleich auf physikalisch-technische Pro-

bleme begrenzt; Störungen durch Software- oder algorithmische Fehler beispielsweise gehören zu dieser Denkweise gemäß der Zuverlässigkeit, weil das System dann i. allg. nicht in den Zustand vor der (irreversiblen) Störung zurückkehrt.

Den Hauptteil des Buches nehmen die Verfahren der Informationsübertragung und -verarbeitung bei additiven Störungen ein, während auf multiplikative (innere und äußere) Störungen am Schluß kurz eingegangen wird.

Dabei werden praktisch alle Kategorien der Nachrichten- und Meßtechnik berührt, die einen Beitrag zum Problemkreis der Störungsabwehr zu leisten imstande sind: zeitliche und spektrale Filterung, Modulation, Korrelation, Kodierung u. v. a., wobei es dem Autor gelingt, durch den gewählten methodischen Aspekt der Störfestigkeit eine erstaunliche Transparenz bezüglich der in recht verschiedenartigen Anwendungstechniken benutzten Methoden zu erzielen.

Natürlich können bei dem gegebenen Umfang nicht alle Methoden bis ins Detail abgeleitet oder begründet werden. Das ist aber weder das Ziel des Buches noch dienlich für den Leser, der gerade den übergreifenden Aspekten folgen will. Ein umfangreiches Literaturverzeichnis (153 Zitate repräsentativer Quellen) ist für weitergehende Studien ein zuverlässiger Wegweiser.

Das Buch ist allen Fachleuten zu empfehlen, die sich in irgendeiner Weise mit Fragen der Störbeeinflussung in die Informations-, Nachrichten- und Meßtechnik bis hin zur Elektromedizin und anderen Anwenderbereichen befassen. Es ist aber gleichermaßen für Studierende und Lehrende an technischen Bildungseinrichtungen geeignet, weil bei fortschreitender Differenzierung der Wissenschaften übergeordnete Betrachtungsweisen helfen, die Übersicht nicht zu verlieren. Alles in allem: ein bemerkenswertes Buch. B 1792 *W. Richter*

TECHNOLOGICAL AND METHODOLOGICAL ADVANCES IN MEASUREMENT. ACTA IMEKO 1982 (Proceedings of the 9th IMEKO CONGRESS of the International Measurement Confederation held from the 24th to the 28th of May 1982 in Berlin-West). Vol. I: Sensors and Transducers; Vol. II: Measurement of Mechanical and Physical Quantities, Metrology; Vol. III: Data Processing and System Aspects. Budapest: Akadémiai Kiadó 1983. Insgesamt 1618 Seiten, zahlr. Bilder.

Diese Berichtsbände des 9. IMEKO-Kongresses vom Mai 1982, die in weniger als einem Jahr nach der Veranstaltung in ausgezeichneter Qualität vorliegen, sind eine wahre Fundgrube für alle, die sich über den derzeitigen Stand der Meßtechnik informieren wollen. Die publizierten Vorträge decken dieses Fachgebiet in voller Breite (von den vielseitigen Aspekten der modernen Sensorik bis zu kompliziertesten Verfahren der rechentechnischen Meßwertverarbeitung) und in unterschiedlicher Tiefe (von sehr speziellen Einzelproblemen bis zu Übersichtsdarstellungen) ab. Es ist hier nicht der Platz, auf diese inhaltliche Fülle detailliert einzugehen, was sich auch deswegen erübrigt, weil dies in dem ausgezeichneten, ausführlichen Tagungsbericht von Prof. *Hofmann* (msr 25 (1982) 11, S. 744–646) bereits geschehen ist. Jedenfalls sind praktisch alle gegenwärtig aktuellen Bereiche der Meßtechnik in irgendeiner Form angesprochen.

Ein Problem bei der Zusammenstellung derartiger Einzelbeiträge liegt naturgemäß im Finden einer zweckmäßigen Gliederung und in der möglichst eindeutigen Zuordnung der Vorträge zu den einzelnen Gliederungspunkten. In dieser Hinsicht sind bei der gewählten Aufteilung der Bände in

– Sensoren (Band I)
– Messung einzelner Größen (Band II)
– Meßwertverarbeitung (Band III)

die Schwierigkeiten bereits vorprogrammiert, denn ein Beitrag über einen intelligenten Sensor für die Druckmessung beispielsweise kann mit gleicher Berechtigung in jedem der drei Bände Aufnahme finden. Diese Problematik kompliziert sich in dem Maße, wie der Begriff „Meßtechnik" immer universeller aufgefaßt wird, wie es z. B. durch die Einbeziehung der automatischen Bildverarbeitung geschieht. Aber auch von diesen grundsätzlichen Schwierigkeiten abgesehen ist im vorliegenden Fall eine weitgehend sachgerechte Zuordnung einzelner Beiträge nicht immer geglückt. So hätte der im Abschnitt „Fasersensoren" des ersten Bandes aufgenommene Beitrag über die metrologische Prüfung von Kraftaufnehmern (S. 173–182) mit Sicherheit in den letzten Abschnitt des zweiten Bandes („Normale und Metrologie") gehört. Ähnliches gilt auch für andere Beiträge. Selbstverständlich schmälern derartige Schönheitsfehler den Wert dieser informativen Materialsammlung ebensowenig wie die äußerliche Uneinheitlichkeit im Schriftbild und den Abbildungen, die durch den fotomechanischen Druck der von den Autoren vorbereiteten Manuskripte bedingt sind. Wer sich der kleinen Mühe unterzieht, die Inhaltsverzeichnisse dieser drei Bände durchzusehen, kann eigentlich sicher sein, wertvolle Arbeiten zu den ihn interessierenden Problemen der Meßtechnik zu finden. B 1785 *H. Hart*

Wirtschaftliche Energieanwendung. 2., stark überarbeitete Auflage. Von einem Autorenkollektiv. Herausgegeben von *W. Riesner* und *W. Sieber*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1982. 390 Seiten, 267 Bilder, 75 Tafeln, 45,— Mark.

Ausgehend von den durch die ökonomische Strategie für die 80er Jahre bestimmten wirtschaftlichen Möglichkeiten und Erfordernissen stehen Leitung, Planung und Organisation der Deckung des Gebrauchsenergiebedarfs und die weitere Erhöhung des Anteils der Nutzenergie an den Energieformen im Mittelpunkt. Für die Bedingungen des verstärkten Einsatzes einheimischer Energieträger werden theoretische Grundlagen, Fragen des ökonomisch richtigen Einsatzes der Energie, Möglichkeiten zur Rationalisierung der Wirkungen im Arbeitsprozeß, praxiserprobte Lösungen zur Intensivierung der Energieanwendung behandelt.

In 7 Kapiteln bilden Energiebedarfsentwicklung international und national sowie wirtschaftliche Energieanwendung in der DDR, Grundsätze der Energieanwendung, wirtschaftliche Bereitstellung der Gebrauchsenergieträger im industriellen Bereich, rationelle Energieanwendung bei der Deckung des Nutzenergiebedarfs, Bestimmung des Gebrauchsenergiebedarfs, komplexe Nutzung von Sekundärenergie als Problem der Einheit von Stoff- und Energieumwandlung, ökonomisch-energetische Prozeßanalyse den inhaltlichen Rahmen. Das erklärte Ziel der Autoren, dabei die sehr große Komplexität und Breite der Energieanwendung im wesentlichen zu erfassen, erscheint erfüllt. Die gewonnenen Aussagen sind für breiteste Anwendungsbereiche gültig.

Den Intentionen der Herausgeber und Mitautoren, über die Grenzen der Spezialgebiete der Energieanwendung hinweg die wechselseitigen Beziehungen und Kausalitäten darzustellen, kann Erfolg bescheinigt werden.

Hervorhebenswert für künftige Entwicklungen erscheint vor allem auch die im Abschn. 5.3. angedeutete Nutzung von Optimierungsmodellen und der modernen Rechentechnik. Die mathematische computergestützte Entscheidungsfindung als die auch für energiewirtschaftliche Prozesse in der DDR relevante Entwicklungsrichtung mit enorm wachsender Bedeutung kann nicht auf Optimierungsmodelle zur Bestimmung des Gebrauchsenergiebedarfs beschränkt bleiben. Die ebenso wichtige Simulation bleibt unerwähnt. Auch der Einsatz der Mikroelektronik wird in künftigen Veröffentlichungen einen gebührenden Raum einnehmen müssen.

B 1787 *G. Peißker*

Zuverlässigkeit technischer Systeme. Mathematische Methoden für den Anwender. Von *P. Köchel*. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1982. 156 Seiten, 32 Bilder, 2 Tafeln, 12,— Mark.

Das Buch ist in der Reihe „Mathematik für Ingenieure" erschienen und setzt sich zum Ziel, Ingenieure aller Fachrichtungen in wichtige Teilgebiete der Zuverlässigkeitsmathematik einzuführen, ohne dabei auf die mathematischen Ableitungen detailliert einzugehen. Das Werk besteht im wesentlichen aus 3 Abschnitten: Im Abschn. 1 (Wahrschein-

lichkeitsrechnung und Zuverlässigkeit) werden die Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der üblichen systematischen Weise zusammengestellt. Die Stoffauswahl bei der Erläuterung zufälliger Prozesse wurde im Hinblick auf Anwendungen zur Lösung von Zuverlässigkeitsproblemen getroffen. Daher stehen Markovsche Ketten, Erneuerungsprozesse und Semi-Markovsche Prozesse im Mittelpunkt der Betrachtung. Der Abschn. 2 beschäftigt sich zunächst mit Überlebenswahrscheinlichkeit und Ausfallrate als Zuverlässigkeitskenngrößen eines Elements. Dann werden die Eigenschaften wichtiger Lebensdauerverteilungen diskutiert und einige statistische Grundlagen des experimentellen Zuverlässigkeitsnachweises erörtert. Anschließend wird auf die Boolesche Theorie der Systemzuverlässigkeit eingegangen und die Reservierung als eine Methode zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von Systemen behandelt. Der Abschn. 3 ist Fragen der optimalen Reservierung (Erläuterung des Näherungsalgorithmus von *I. A. Ušakov*) und der optimalen prophylaktischen Erneuerung gewidmet.

Obwohl es zu allen behandelten Fragen bereits weiterführende Lehrbücher oder Monographien gibt, die in DDR-Verlagen erschienen sind, wird diese handliche, gut ausgestattete und preiswerte Einführung vor allem unter den Studenten der Fach- und Hochschulen viele Leser finden. Vielleicht hätte der Verfasser an geeigneter Stelle deutlicher hervorheben sollen, daß er für sein Buch lediglich einige ausgereifte Teilgebiete der Zuverlässigkeitsmathematik ausgewählt hat, während vor allem die neueren Konzepte der Zuverlässigkeitstechnik und die zugehörenden mathematischen Modelle (Redundanzprinzipien, die nicht auf Reservierung beruhen; Fehlerbaummethoden; Theorie der fehlertoleranten Systeme u. a.) unberücksichtigt bleiben mußten.

B 1788 *K. Reinschke*

Data Analysis and Regression (in Russ). Von *F. Mosteller* and *J. W. Tukey*. Moskau: Finansy i statistika 1982. 319 Seiten.

Mit der stürmischen Entwicklung der Informationstechnik wird es möglich, umfangreiche Datenmassive bereitzustellen, die jedoch auch verarbeitet werden müssen. Traditionelle Aufgabe der Statistik ist es, Stichproben auf einige wenige Kenngrößen, Darstellungen oder auch Kenntnisse (von den Autoren als Indikatoren bezeichnet), abzubilden. Das erfolgt mit Hilfe der multiplen Regression, Dispersionsanalyse, Faktorenanalyse, Strukturanalyse u. a., wobei Hypothesen zur Anwendung kommen, die nur schwer überprüfbar sind. Aufgabe einer Datenanalyse ist es nunmehr, die Möglichkeiten und Auswirkungen unterschiedlicher Annahmen zu überprüfen, wobei entsprechend dem Systemcharakter derartiger Untersuchungen möglichst viel exogene Information berücksichtigt werden sollte. Materielle Grundlage für diese Analysen sollten Mensch-Rechner-Dialogsysteme sein.

In diesem 1. Band untersuchen die international bekannten amerikanischen Wissenschaftler die wichtigsten Prinzipien einer effektiven Datenanalyse sowie notwendige Annahmen für ihre praktische Realisierung. Dazu gehören, nach einer Einleitung in wesentliche Aufgaben dieses Gebietes der mathematischen Statistik, ein Überblick über in der Statistik gebräuchliche Indikatoren, Möglichkeiten der Darstellung homogener Stichproben und ihrer Linearisierung. Die Autoren überprüfen die Zweckmäßigkeit von Datentransformationen sowie der Normierung von Daten und behandeln ausführlich direkte und stabile Schätzmethoden.

Vorausgesetzt werden Anfangskenntnisse der mathematischen Statistik; eine Vielzahl ausgewählter Beispiele aus allen Anwendungsbereichen erleichtert es, das Anliegen der Autoren zu verdeutlichen.

B 1762a *J.-A. Müller*

Angewandte multiple statistische Analyse. Von *S. A. Dubrovskij*. Moskau: Finansy i statistika 1982. 216 Seiten, 4 Bilder, 18 Tafeln.

Die große Anzahl der im Rahmen der mathematischen Statistik entwickelten Methoden zur multiplen statistischen Analyse erlaubt es, bei richtiger Handhabung der Verfahren und Berücksichtigung der ihnen zugrunde liegenden Voraussetzungen eine große Zahl praktischer Aufgaben zu lösen. Dabei ist es von außerordentlicher Bedeutung, die in praktischen Aufgaben a priori vorhandene Unbestimmtheit zu berücksichtigen.

In letzter Zeit wurden in der mathematischen Statistik in zunehmendem Maße Anstrengungen unternommen, um die statistische Methodologie, Methoden und Algorithmen zur Schätzung multipler Regressionen zu vervollkommnen. Eine wichtige Richtung sind dabei Verfahren, die die A-priori-Information und Unbestimmtheit maximal beachten und bezüglich unerwünschter Einflüsse invariant sind (vom. Autor als Stabilität bezeichnet).

Der Erhöhung dieser Eigenschaft statistischer Schätzmethoden in allen Etappen der Untersuchung ist das Buch gewidmet. Dabei werden, ausgehend von der Untersuchung der logischen Grundlagen und des Wesens der multiplen statistischen Analyse und ihrer Klassifikation, wesentliche Methoden und Algorithmen auf einheitlicher Grundlage vorgestellt und bezüglich ihrer Mängel und Nachteile untersucht. Durch ihre Modifikation wird erreicht, daß sie unter praktischen Bedingungen hinreichend stabile Ergebnisse bringen. Alle dabei auftretenden Probleme werden anhand einer ausführlichen Untersuchung praktischer Beispiele zur mathematischen Beschreibung, Optimierung, Zustandsschätzung, Regelung u. a. behandelt. Der Anhang enthält einige Algorithmen und Fortran-Programme. B 1763 *J. Peters*

Erstellung von Ingenieurexperimenten. Von *V. N. Kovšov*. Kiew-Doneck: Višča škola 1982. 118 Seiten, 17 Bilder, 29 Tafeln.

Die methodischen Schwierigkeiten, mit denen der Ingenieur bei der Realisierung experimenteller Untersuchungen in der Praxis konfrontiert wird, beruhen u. a. darauf, daß zur theoretischen Begründung seines Herangehens an derartige Untersuchungen Erkenntnisse unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen erforderlich sind in Verbindung mit

- der Abbildung des Untersuchungsobjektes als Element des Gegenstandsbereichs in ein Objekt-System, das die für die Untersuchung wesentlichen Elemente beinhaltet
- der Auswahl der Untersuchungsmethode
- der Vorbereitung des Untersuchungsobjektes
- der Auswahl technischer Hilfsmittel, z. B. zur Messung und Kontrolle
- der Planung der Versuche
- der Auswertung der erhaltenen Ergebnisse und ihrer Interpretation u. a.

Naturgemäß spielen dabei Erkenntnisse der Theorie des Experiments und die ihnen zugrunde liegenden mathematischen Modelle eine große Rolle.

Der Autor der vorliegenden Monografie strebt danach, die wesentlichen Fragen in diesem Zusammenhang aufzuwerfen und dabei die grundlegenden Etappen bei der Realisierung ingenieurmäßiger Experimente wissenschaftlich zu begründen. Die erhaltenen Aussagen werden mit Beispielen aus der metallurgischen Produktion ergänzt. Das Buch führt den interessierten Leser in die Problemstellung ein und vermittelt erste Vorstellungen über die Möglichkeiten der Theorie des Experiments, die jedoch durch anschließendes Studium der bereits vorhandenen Fachliteratur ergänzt werden sollten. B 1764 *K.-H. Winter*

Nonlinear Programming. Theory and Algorithms (in Russ.). Von *M. S. Bazara* und *S. M. Shetty*. Moskau: Mir 1982. 583 Seiten, 108 Bilder, 24 Tafeln.

Mit der Entwicklung der Rechentechnik und der mathematischen Optimierung sind die entscheidenden Voraussetzungen gegeben, um die vielfach vorhandenen Nichtlinearitäten, z. B. in der Zielfunktion und/oder in den Nebenbedingungen, zu berücksichtigen und anstelle ihrer Annäherung durch ein Modell der Linearen Optimierung eine adäquate Lösung mit Hilfe der nichtlinearen Optimierung zu erhalten. Das vorliegende Buch soll insbesondere dem Ingenieur die dazu unbedingt erforderlichen mathematischen Grundlagen-

kenntnisse, z. B. zur Theorie konvexer Mengen, konvexer Funktionen, zu den Optimalbedingungen, Dualitätstheorie, Konvergenz u. a., geben, einen hinreichend vollständigen Überblick über den erreichten Stand von Theorie und Algorithmen der nichtlinearen Optimierung vermitteln und gleichzeitig bei der praktischen Arbeit als Handbuch dienen.
Ausführlich behandeln die Autoren die Optimalbedingungen nach *Kuhn-Tukker*, Regularitätsbedingungen und auf der Grundlage der Lagrange-Funktion die Dualitätstheorie. Für die im weiteren ausreichend vollständig und detailliert untersuchten Algorithmen zur Optimierung mit und ohne Nebenbedingungen (sowohl gradientenfreie Verfahren als auch Gradientenverfahren) sind Konvergenzuntersuchungen enthalten. Bei der Optimierung mit Nebenbedingungen finden Barriere- und Straffunktionen Anwendung.
Großen Wert legen die Autoren auf das Verständnis ihrer Darlegungen, dem dienen viele Abbildungen und Beispiele unterschiedlichster Kompliziertheit. Im Anhang sind darüber hinaus die wichtigsten mathematischen Grundlagen zusammengefaßt. Jedes Kapitel endet mit einer Zusammenstellung von Übungsaufgaben, die wohl überlegt und differenziert im Schwierigkeitsgrad sind. Das Buch ordnet sich gut ein in die umfangreiche Literatur zur nichtlinearen Optimierung und wendet sich dabei vor allem an den auf praktische Anwendungen orientierten Operationsforscher, Kybernetiker, angewandten Mathematiker und Ingenieur, denen das Interesse an numerischen Methoden zur Optimierung gemeinsam ist. B 1765 *Z. Peters*

Elektrische Meßtechnik. Von *E. Stöckl* und *K. H. Winterling*. Stuttgart: B. G. Teubner 1982. 330 Seiten, 337 Bilder, 12 Tafeln, 40 Beispiele.

Das bewährte Lehrbuch, das früher in der Buchreihe *Moeller*: „Leitfaden der Elektrotechnik" erschien, liegt nunmehr in 7. Auflage vor. Diese wurde von den 5 Autoren unter der Federführung von *K.-H. Winterling* völlig neu bearbeitet. Die Gliederung des Buches wurde modernisiert, um dem verstärkten Trend zum Einsatz elektronischer Meßgeräte und Meßverfahren Rechnung zu tragen, Meßverfahren der Nachrichtentechnik wurden vermehrt aufgenommen, und der Inhalt wurde völlig überarbeitet und auf den neuesten technischen Stand gebracht. Daß der Umfang trotzdem nicht angewachsen ist, spricht für die Disziplin der Autoren.
Das Buch macht einen rundum ausgewogenen Eindruck. Die Beschreibung der Meßgeräte hält sich wohltuend in Grenzen. Nach der Erläuterung des Funktionsprinzips werden vor allem die Eigenschaften und Einsatzgebiete sowie typische Kennwerte genannt, so daß dem Studierenden, aber auch dem schon in der Praxis stehenden Elektroingenieur die Auswahl der Meßgeräte erleichtert wird.
Den weitaus größten Rahmen nehmen die Meßverfahren zur Messung elektrischer und magnetischer Größen ein (Stromstärke, Spannung, Frequenz, Arbeit, Leistung, Leistungsfaktor, Phasenwinkel, Fluß, Flußdichte, Feldstärke, Kenngrößen magnetischer Werkstoffe usw.). Ein Abschnitt über die elektrische Messung nichtelektrischer Größen (Weg, Kraft, Druck, Temperatur, Strahlung usw.), der allerdings in Anbetracht der Vielzahl der technisch genutzten Effekte und Meßfühler nicht erschöpfend sein kann sowie ein — ebenfalls mehr informatorischer — Abschnitt über Fernmeßeinrichtungen und automatische Meßsysteme runden das Buch ab.
Aufbau und Darstellung sind klar und logisch. Auf Praxisnähe wird großer Wert gelegt, für ein Lehrbuch nicht unbedingt selbstverständlich und deshalb insbesondere erwähnenswert. So werden bei den Meßgeräten und Meßschaltungen typische Kennwerte (Meßbereich, Fehlerklasse, Zeitverhalten usw.) angegeben und häufig Standards zitiert. 40 Beispiele dienen der Vertiefung des Stoffes. Das sehr übersichtliche Schriftbild unterstützt das didaktische Anliegen des Buches. B 1771 *R. Fischer*

Elektrische Meßtechnik. Elektrische und elektronische Verfahren, Anlagen und Systeme. Von *K. Bergmann*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH. 452 Seiten, 288 Bilder.

Nachdem sich die klassische elektrische Meßtechnik und danach die elektronische Meßtechnik zur Messung elektrischer Größen im Gleich- und Wechselspannungsbereich von niedrigen bis zu hohen und höchsten Frequenzen in deutlich abgegrenzten Gebieten harmonisch entwickelt haben, erleben wir gegenwärtig eine starke Verwischung der Grenzlinien sowie das immer stärkere Eindringen der elektronischen, besser mikroelektronischen Meßtechnik auch in die Bereiche der elektrischen Messung und Steuerung nichtelektrischer Größen. Dieser Sachverhalt spiegelt sich bisher nur in wenigen Fachbüchern der elektrischen Meßtechnik ädaquat wider. Es ist ein Verdienst von *K. Bergmann*, in anschaulicher Weise elektrische und elektronische Hilfsmittel zur elektrischen Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen anschaulich und geschlossen darzustellen und so das Verständnis für die Grundlagen einer modernen Technik und Technologie zu fördern. Das Buch beschäftigt sich im ersten Teil mit elektrischen Hilfsmitteln und Verfahren, die ohne Kenntnisse über elektronische Bauelemente durchgearbeitet werden können. Im speziellen sind das Grundbegriffe und Definitionen der Meßtechnik, Meßsignalanalyse, Meßfehleranalyse und ausführliche Beschreibung elektrischer Gerätetechnik, wie Zeigerinstrumente, Zifferninstrumente, Normale und Schreiber sowie elektrische Meßverfahren zur Messung von Stromstärke, Spannung, Induktivität, Kapazität, Frequenz und Phasenlage, Leistung und Arbeit. Darüber hinaus beschäftigt sich ein Kapitel mit Störsignalanalysen und Störsignalunterdrückung.
Der zweite Teil des Buches widmet sich elektronischen Hilfsmitteln und -verfahren. Er ist als Aufbaulehrgang gestaltet und setzt Grundkenntnisse über elektronische Bauelemente und Schaltungen voraus. Im einzelnen geht es um elektronische Hilfsmittel, wie Verstärker, Impulsformer, Funktionsgeneratoren und Spannungs- sowie Stromquellen. Die behandelten elektronischen Meßgeräte betreffen Oszilloskope, Meß- und Anzeigeverstärker, Meßumformer, Digitalvoltmeter sowie Signalquellen und Normale.
Im letzten Teil des Buches über Anlagen zur Kontrolle technischer Prozesse werden auf etwa 60 Seiten zahlreiche Beispiele zur elektrischen Messung nichtelektrischer Größen, wie Länge, Dehnung, Druck, Temperatur, Feuchte, Wasseranalyse und Gasanalyse, behandelt.
Weitere 40 Seiten dienen der Beschreibung elektrischer Meßanlagen für Energieübertragung, Verfahrenstechnik und Umweltschutz. Kapitel 8 über die Systemtheorie der Meßtechnik ist als Ausblick auf moderne Behandlung des statischen und dynamischen Verhaltens von Meßsystemen gedacht und beschränkt sich dabei auf Nennung und Erklärung der wichtigsten Begriffe und Zusammenhänge sowie den Verweis auf weiterführende Literatur.
Insgesamt ist das Lehrbuch ein fachlich moderner, methodisch-didaktisch erfahrener und drucktechnisch ansprechender Beitrag zur Vermittlung von aktuellem Standardwissen auf dem Gebiet der elektrischen und elektronischen Meßtechnik. Es ist als studienbegleitendes Material ebenso geeignet wie als Material zum Selbststudium oder zum Nachschlagen. Das Buch ist vor allem denen zu empfehlen, die sich schnell informieren wollen. B 1807 *D. Hofmann*

Multivariable Feedback: A Quasi-Classical Approach. Von *Y. S. Hung* und *A. G. J. MacFarlane*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1982. 182 Seiten.

Auf dem Gebiet der linearen Mehrgrößenregelungen ist seit etwa 1970 gezielt mit der Erweiterung der klassischen, für den einschleifigen Regelkreis bewährten Frequenzgangmethoden für den multivariablen Fall begonnen worden. Die Wissenschaftliche Schule um *A. G. J. MacFarlane* hat diese Entwicklung, angefangen von der Schaffung der theoretischen Grundlagen bis hin zum Ent-

wurf im bildschirmorientierten Dialog mit dem Digitalrechner entscheidend mitbestimmt. Mit dem vorliegenden Band aus der Reihe Lecture Notes in Control and Information Sciences werden neueste Ergebnisse auf diesem Teilgebiet der linearen Mehrgrößenregelungen vorgestellt. Die Autoren greifen Grundideen der Anfang der 70er Jahre entwickelten Methode der charakteristischen Ortskurven auf und konzipieren ein weiteres rechnergestütztes Analyse- und Entwurfsverfahren (CAD). Wesentliches Hilfsmittel ist wieder das verallgemeinerte Nyquist-Kriterium. Durch gezielte Manipulation von speziellen, für den Mehrgrößenfall neu definierten Frequenzcharakteristiken — also durch quasi klassische Herangehensweise — werden relativ einfach strukturierte Mehrgrößenregler gefunden, die gewünschte Stabilitäts- und Güteeigenschaften sichern. Gleichzeitig wird eine Robustheit in dem Sinne angestrebt und realisiert, daß ein bestimmter Grad der Stabilität und Güte auch bei Veränderungen in der Strecke erhalten bleibt. Da die generalisierten Nyquist-Diagramme die Güte des geschlossenen Systems nicht ausreichend charakterisieren, werden andere Formen der Operatordekomposition, angewendet auf die Übertragungsmatrix, eingeführt. Insbesondere weist die singuläre-Werte-Dekomposition in ihrer Erweiterung auf Übertragungsfunktionsmatrizen den Weg, Quasi-Nyquist-Ortskurven in der komplexen Ebene zu definieren. Auf deren Grundlage wird dann in entfernter Analogie zur Methode der charakteristischen Ortskurve die Theorie für das neue Analyse- und Entwurfsverfahren entwickelt. Der hierbei zunächst anfallende „ideale" Kompensator ist i. allg. nicht realisierbar, so daß ein Approximationsschritt folgen muß. Hierfür wird eine geeignete Methode vorgeschlagen. Einige illustrative — dem Fachmann auf dem Gebiet der modernen Frequenzbereichsverfahren z. T. gut bekannte — Beispiele und eine kurze Diskussion des vorgeschlagenen Verfahrens runden die Darstellung ab. Entsprechend dem Charakter der Buchreihe wird in erster Linie der Spezialist auf dem o. g. Teilgebiet der Regelungstheorie angesprochen. Die praktische Anwendung setzt komfortable rechnergestützte, dialogfähige Entwurfsplätze voraus.

B 1745 *U. Korn*

Basiswissen Elektronik. Band 3: Datenverarbeitung (EDV). Von *D. Benda*. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1982. 144 Seiten, zahlr. Bilder.

Im Rahmen der Taschenbuchreihe „Basiswissen Elektrotechnik" des VDE-Verlags hat *D. Benda* die Aufgabe übernommen, die Grundlagen der elektronischen Datenverarbeitung zu behandeln. In Anbetracht des beschränkten Umfangs eines solchen Buches kommt dabei einer geeigneten Auswahl des darzustellenden Stoffes eine hohe Bedeutung zu. Sie dürfte dem Autor allerdings kaum gelungen sein. Auch bei der detaillierten Ausführung erscheinen Wesentliches und Unwichtiges bunt gemischt.

In der Einleitung wird darauf verwiesen, daß es durch das Vordringen der Mikrorechentechnik notwendig wird, dem Elektroniker in zunehmendem Maße Kenntnisse auf dem Gebiet der EDV zu vermitteln. Im Verlaufe der Darlegungen spielen Mikrorechner jedoch keine Rolle, obwohl eine solche Orientierung auch in Anbetracht der als Beispiel benutzten Büroautomatisierung nahe gelegen hätte. Der Autor geht von der manuellen Erledigung von Verwaltungsarbeiten aus und zeigt zunächst Möglichkeiten zum Einsatz von Rechnern. Daran anschließend behandelt er Aufbau und Arbeitsweise einiger gerätetechnischer Komponenten von EDV-Anlagen, insbesondere von Eingabe-Ausgabe-Einheiten, aus der Sicht des Benutzers. Zum Schluß werden noch Darstellung und Verarbeitung von Zahlen in Digitalrechnern berührt. Programmbeispiele bleiben entweder auf der Ebene von Programmablaufplänen oder werden im internen Maschinenkode behandelt. Darüber hinausgehende Softwareprobleme sind in dem Büchlein völlig ausgeklammert. So wird beispielsweise auf der einen Seite über das Eröffnen und Schließen von Dateien gesprochen, andererseits wird aber nicht erwähnt, daß in EDV-Anlagen ein vom Hersteller mitgeliefertes Betriebssystem vorhanden ist, das unter anderen auch diese Aufgabe löst.

Es muß dem Autor bescheinigt werden, daß er eine leicht faßliche Darstellungsform gewählt hat. Eine große Anzahl von Strichzeichnungen und eine Reihe von Halbtonreproduktionen erhöhen die Anschaulichkeit noch. Weiterhin werden kaum Vorkenntnisse vorausgesetzt. Aus diesem Grunde erscheint das Taschenbuch zum Beispiel für Arbeitsgemeinschaften oder auch für die Weiterbildung in solchen Richtungen geeignet, bei denen ein Einsatz der EDV für die Rationalisierung von Hilfsprozessen beachtet werden muß. Elektroniker dürften allerdings unterfordert bleiben.

B 1752 *D. Werner*

Grundlagen der Numerischen Mathematik II. Studienbuch für Studenten der Mathematik, Informatik, Statistik und aller Naturwissenschaften. Von *M. Reimer*. Wiesbaden: Akademische Verlagsgesellschaft 1982. 263 Seiten, zahlr. Bilder.

Ähnlich wie der erste Band (msr 25 (1980) 3, S. 175) wendet sich die Darstellung vorwiegend an Studenten der Mathematik und benachbarter Disziplinen. Die Kenntnis des ersten Bandes wird vorausgesetzt, wenngleich große Teile des vorliegenden zweiten Bandes unabhängig davon lesbar sind.

Im ersten Kapitel werden Extremalaufgaben mit Nebenbedingungen behandelt. Nach einer kurzen Einführung der Methode der Lagrange-Multipilikatoren (für Nebenbedingungen in Gleichungsform) wird die Grundaufgabe der linearen Optimierung mit Hilfe des Simplexverfahrens behandelt, einschließlich der bekannten Anwendung auf Fragen der diskreten Tschebyscheff-Approximation. Das zweite Kapitel dient der Lokalisierung der Nullstellen (komplexer) Polynome durch endliche, rationale Methoden (Stabilitätsprüfung). Behandelt werden die Methoden der Sturmschen Ketten (für reelle Nullstellen), von *Routh-Hurwitz* (Lokalisierung in der linken Halbebene) und von *Cohn* (Lokalisierung im Einheitskreis). Das Kapitel wird ergänzt durch die Behandlung von Polynomtransformationen, die bestimmte Stabilitätsgebiete nicht verändern.

Den Schwerpunkt des Bandes bilden Anfangswertaufgaben gewöhnlicher Differentialgleichungen. Neben der Bereitstellung der benötigten Grundlagen werden Verfahren vom Runge-Kutta-Typ unterschiedlicher (Konsistenz-) Ordnung, durch Integration von Interpolationspolynomen gewonnene Methoden (Adamssches Verfahren) sowie allgemeine lineare Differenzverfahren behandelt. Besonderer Wert wird auf Fragen der Konsistenz, der Konvergenz und der Stabilität (im Sinne von *Dahlquist*) gelegt. Die Behandlung dieser Fragen erfolgt über die im ersten Band bereitgestellten linearen Differenzenformen. Die Behandlung von Randwertproblemen gewöhnlicher DGL erfolgt nur einführend anhand ausgewählter Methoden (Differenzverfahren, Ritz-Galerkinsches Verfahren). Ähnliches gilt für die abschließend behandelten partiellen DGL. Hier werden für Gleichungen erster Ordnung die Charakteristikenmethode und für Gleichungen zweiter Ordnung die Differenzverfahren vorgestellt.

Wie bereits der erste Band, so kann auch dieses Buch all denen empfohlen werden, die an einer theoretischen Durchdringung numerischer Methoden interessiert sind. Wer dagegen vorwiegend die (rezeptartige) Darstellung von Rechenverfahren sucht, sollte zu anderen Büchern greifen.

B 1751 *J. Uhlig*

Mikroprozessortechnik. Von *D. Benda*. 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Grafenau: expert-verlag und Berlin: VDE-Verlag GmbH 1982. 253 Seiten, zahlr. Bilder und Tafeln.

Mit der Mikroelektronik ist es technisch und ökonomisch möglich geworden, den Automatisierungsgrad in allen Bereichen der Volkswirtschaft entscheidend zu erhöhen. Die damit verbundenen Innovationen und Wandlungen sowohl

materieller Produktionsprozesse als auch geistiger Routineprozesse und administrativer Aufgaben führen natürlich gleichzeitig zu neuen Forderungen bezüglich der Qualifizierung des in diesen Prozessen tätigen Personals. Diese Qualifizierungsaufgabe versucht das Buch zu unterstützen. Es ist wesentlich stärker als andere vergleichbare Fachbücher für das Selbststudium bzw. das vertiefende selbständige Einarbeiten in das oben genannte neue Gebiet konzipiert.
In den acht Abschnitten des Buches wird der Leser mit dem grundsätzlichen Aufbau, den Funktionen und der Wirkungsweise der unterdessen fast standardisierten Mikroprozessorbausteine sowie deren gegenseitige Kopplungen bekannt gemacht. Dabei werden auch die Schnittstellenprobleme, die Befehls- und Adressierungsarten und die Entwicklung von Programmen vorgestellt.
Jedem Abschnitt werden kurz und prägnant die Lernziele vorangestellt. Der Autor setzt keine Spezialkenntnisse auf dem Gebiet der Mikroelektronik beim Leser voraus und führt in den einzelnen Abschnitten immer nur dann schaltungstechnische Realisierungen oder typbezogene Systembetrachtungen als Beispiele an, wenn diese Erläuterungen wesentlich zur Vertiefung des Verständnisses beim Leser und zur Erklärung der logischen Zusammenhänge beitragen.
An allen Stellen, an denen die Datenweg- bzw. Wortbreite und damit der prozessorinterne Kode eine entscheidende Rolle spielen, werden vom Autor sowohl die Eigenheiten des 4-bit- als auch die des 8-bit- und 16-bit-Prozessors betrachtet. Besonders wertvoll für den Lernenden sind die umfangreichen Tabellen, in denen Anschlußbezeichnungen der Baugruppen und ihre Funktionsbzw. Wirkungsweise oder Befehle sowie Kode- und Flag-Belegungen sehr eingehend erläutert werden. Die zahlreichen Bilder, Übersichten und Ablaufpläne interpretieren ebenfalls gut den anwenderbezogenen Text.

B 1754 *S. Pilz*

Grundprobleme der Mikroelektronik. Einführung in die technischen und wirtschaftlichen Entwicklungsgesetze der Großintegration (VLSI). Von *W. Hilberg*. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1982. 359 S., zahlr. Bilder und Tafeln.

Nach einer einleitenden, knappen Erläuterung des Fertigungsprozesses von integrierten Schaltungen werden in Form einer Monographie die grundlegenden technisch-ökonomischen Prinzipien der Fertigung hochintegrierter Schaltkreise, die letzten Endes für den Erfolg dieser Technik maßgebend sind, ausführlich dargelegt:

- Herstellerprobleme, wie Ausbeute, Lern- und Wachstumsprozesse sowie die davon abhängige Produktionsaufnahme höher integrierter Bauelemente, Individualisierung von Massenprodukten, Prüfung hochintegrierter Schaltkreise, Entwurfsautomatisierung
- Zuverlässigkeitsaspekte, die insbesondere den Anwender interessieren
- Miniaturisierung der Bauelemente und deren Einfluß auf Bauelementekennwerte sowie die technischen und wirtschaftlichen Grenzen der Mikroelektronik.

Ein relativ umfangreicher Anhang enthält Beispiele, spezielle mathematische Ableitungen, Formeln und Daten. Das Buch ist einer der wenigen, zusammenfassenden, wissenschaftlich fundierten Abhandlungen zu diesem Wissensgebiet und stellt somit eine äußerst wichtige Ergänzung der vorhandenen Literatur zur Halbleiterphysik, -elektronik und -technologie dar. Neben qualitativen Aufgaben bemüht sich der Autor auch um eine quantitative Erfassung der Zusammenhänge und kann hierbei auf Ergebnisse eigener Arbeiten zurückgreifen.
Mit dem dargebotenen Einblick in die Vielseitigkeit und Komplexität der Halbleiterbauelementefertigung, die beispielsweise Kenntnisse zur Schaltungstechnik, Meßtechnik, Rechnerorganisation und Systemprogrammierung erfordert, und der bewußten Beschränkung hinsichtlich Halbleiterelektronik und -technologie wird ein sehr breiter Leserkreis angesprochen. Dazu trägt auch die i. allg. stark vereinfachte, übersichtliche und kurzweilige Darstellungsweise bei, die das Lesen des Buches ohne größere fachliche Vorbildung ermöglicht und die zu weiteren Überlegungen anregt.

B 1755 *K. Schade*

Multivariable Feedback Systems. Von *F. M. Callier* und *C. A. Desoer*. New York/Heidelberg/Berlin: Springer-Verlag 1982, 275 Seiten, 20 Bilder.

Das Buch stellt eine streng mathematisch gehaltene Systemtheorie linearer zeitinvarianter MIMO-Systeme mit konzentrierten Parametern dar, wobei die Probleme rückgekoppelter Mehrgrößensysteme besondere Aufmerksamkeit finden. Nach einem einführenden Kapitel über den Nutzen von Rückführungen für die Verbesserung des statischen und dynamischen Systemverhaltens werden geeignete Definitionen für den Begriff hoher Schleifenverstärkungen in MIMO-Systemen gegeben.
In einem sehr umfangreichen zweiten Kapitel wird die Zerlegung rationaler Übertragungsfunktionsmatrizen in Zähler- und Nenner-Polynommatrizen behandelt. Nach einer Darstellung wichtiger Fakten aus der Theorie der Polynommatrizen (Teiler, Teilerfremdheit, Rang, Elementaroperationen, Standardformen, Abspaltung großer gemeinsamer Teiler) wird die Zerlegung von Übertragungsfunktionsmatrizen in teilerfremde Zähler- und Nennerpolynommatrizen und ihre Beziehung zur Smith-McMillan-Form behandelt. Pole und Nullstellen bilden einen weiteren Schwerpunkt. Eine Behandlung des Zusammenhanges zwischen Minimalrealisierung und der Zerlegung rationaler Übertragungsfunktionsmatrizen bildet den Abschluß dieses Abschnitts.
Im folgenden Abschnitt wird die Beschreibung von MIMO-Systemen durch verallgemeinerte Zustandsgleichungssysteme behandelt. Dabei werden die Begriffe Zustandsraum, Zustandstrajektorie usw. auf den Fall verallgemeinerter Zustandsgrößen erweitert. Die Möglichkeiten dabei auftretender dynamisch redundanter Systembeschreibungen werden mit Hilfe der Begriffe Erreichbarkeit, Beobachtbarkeit und verborgene Modi ausführlich behandelt. Weiterhin wird auf die Frage der Stabilität eingegangen, die an Hand verallgemeinerter Zustandstrajektorien diskutiert wird. Abschließend werden die speziellen Eigenschaften von Übertragungsfunktionsmatrizen dargestellt, die aus verallgemeinerten Zustandsbeschreibungen abgeleitet werden.
Im vierten Abschnitt wird die Zusammenschaltung von durch verallgemeinerte Zustandsgleichungen beschriebenen Teilsystemen behandelt, und es werden Fragen der Stabilität rückgekoppelter MIMO-Systeme untersucht. Weiterhin werden die Bedeutung der Determinante der Rückführdifferenzmatrix für die Dynamik des Gesamtsystems herausgearbeitet und die Konsequenzen von Nullstellen in der rechten p-Halbebene für das erzielbare dynamische Gesamtverhalten aufgezeigt. Die Behandlung einiger Entwurfsprobleme anhand von Eingrößensystemen dient der Vorbereitung der Behandlung von Entwurfsproblemen für Mehrgrößensysteme in den letzten drei Kapiteln. Diese betreffen den Kompensatorentwurf für die Erzielung einer gewünschten Systemdynamik durch Polzuweisung, den Entwurf von Folgereglern mit asymptotischen Folgeeigenschaften und den Reglerentwurf bei instabilen Regelstrecken. Dabei liegt der Schwerpunkt der Ausführungen auf der Darstellung der systemtheoretischen Möglichkeiten und Grenzen des Entwurfs. Das Buch spiegelt den neuesten Stand der systemtheoretischen Beschreibung von MIMO-Systemen mittels verallgemeinerter Zustandsraummodelle und zerlegter Matrixübertragungsfunktionen wider. Es ermöglicht dem theoretisch interessierten Ingenieur, die systemtheoretischen Grenzen beim Entwurf von Mehrgrößenregelungen zu erkennen. Das Verständnis des gebotenen Stoffes setzt sehr gute mathematische Kenntnisse der modernen Algebra und der Theorie der Polynommatrizen voraus und erfordert infolge der sehr knappen Darstellung eine intensive Durcharbeit.

B 1760 *H.-H. Wilfert*

msr LESERZUSCHRIFT

Bezug nehmend auf die msr-Fortsetzungsreihe „Programmierbare nichtnumerische Steuerungen“ (Hefte 1/1981 bis 8/1982) wurde uns folgende Ergänzung zugesandt:

Assembler für die PS 2000 auf robotron 4200/4201

Das System umfaßt die rechnergestützte Programmentwicklung, -aufbereitung und -übersetzung in den PROM-Programmierkode für das PROM-Programmiergerät G-3001. Dazu wurde die Programmiersprache der PS 2000 um einige Pseudobefehle, die Verwendung von Makros und symbolischen Adressen erweitert. Die Quellenprogramme, die in dieser maschinenorientierten Programmiersprache (MOPS) 2000 geschrieben sind, werden mit dem Assembler GRAS 4200-PS 2000 übersetzt. Der Assembler erfüllt folgende Aufgaben:

- Übersetzung von Quellenprogrammen in zwei Durchläufen
- Aufbereiten von Quellenprogrammen (Korrektur)
- Organisation der Chippaarbelegung
- Ausgabe von Übersetzungsliste, Fehlerliste, Quellenprogrammen und PROM-Programmierkode auf Lochband.

Der Assembler arbeitet unter der Regie des Steuerprogrammsystems UEAS 4200.
Eine Minimalkonfiguration des robotron 4200/4201 mit einer Hauptspeicherkapazität von 16 K Worten ist erforderlich. Im Gegensatz zur früheren Programmierweise werden, bezogen auf 2000 Programmworte, etwa 9 Arbeitstage (Programmier-, Schreibtätigkeit usw.) eingespart. Weitere Vorteile liegen in der Wiederverwendung bereits programmierter Abschnitte und der Einsparung von PROM's durch optimale Programmierung der Chips.

Interessenten wenden sich an:
Deutsche Reichsbahn, Ingenieurbüro für Entwicklung, Technologie und Rationalisierung der Fahrzeugausbesserung, BfNS, 7123 Engelsdorf, Werkstättenstraße 8, Telefon Leipzig 61073.

msr 7951 *L. Förster; H.-J. Lepies*

msr VORSCHAU UND KURZINFORMATIONEN

5. Fachtagung des FA Brand- und Explosionsschutz

Unter dem Leitthema „Nichtstandardisierte Schutzmaßnahmen und -mittel im Brand- und Explosionsschutz“ findet am 30. und 31. Januar 1984 in Dresden (Plenarsaal des Rates der Stadt Dresden) o. g. Fachtagung statt. Veranstalter ist der Fachverband Chemische Technik der KDT.
Als Arbeitsthemen sind geplant:

- Einordnung der nichtstandardisierten Maßnahmen und Mittel im Brand- und Explosionsschutz
- Gewährleistung der Schutzgüte
- Juristische Aspekte
- Lüftung von großen Betriebsräumen und von Analysenmeßräumen
- Einsatz von Dämmschichtbildnern
- Staubexplosionsschutz bei Schutzgasbetrieb
- Praktische Erfahrungen mit nichtstandardisierten Schutzmaßnahmen

Teilnahmemeldungen sind bitte schriftlich zu richten an:
Präsidium der KDT, Fachverband Chemische Technik, 1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115/117, PSF 1315.

8. Tagung „Hochvakuum, Grenzfläche/dünne Schichten“

Vom 5. bis 7. März 1984 veranstaltet die Physikalische Gesellschaft der DDR in Dresden die o. g. Fachtagung.
Folgende Sachgebiete werden behandelt:

- Vakuum, Erzeugung, Messung, Technologien
- Dünne Schichten: Herstellung, Eigenschaften, Prozesse, Diagnostik
- Festkörpergrenzflächen: Eigenschaften, Prozesse, Diagnostik
- Materialien der Elektronik und Optik: Strukturierung, Implantation, Ausheilung und andere vakuumtechnische Modifizierungsverfahren.

Interessenten wenden sich bitte an die Physikalische Gesellschaft der DDR, 1080 Berlin, Am Kupfergraben 7.

Kraftstoffmeßeinrichtung mit hoher Genauigkeit

Eine automatisierte Kraftstoffmeßeinrichtung für Motorenprüfstände ist von Mitarbeitern des WB Chemie der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden entwickelt und gebaut worden. Sie besteht ausschließlich aus Bauteilen der DDR-Produktion.
Im Gegensatz zum bisher üblichen Prinzip, das Volumen des verbrauchten Kraftstoffs zu messen, kann das Gerät den Kraftstoffverbrauch gewichtsmäßig feststellen und über eine elektronische Meßanordnung die Zeit für den Verbrauch einer bestimmten Kraftstoffmenge ermitteln. Besondere Merkmale des neuen Verfahrens sind die hohe Meßgenauigkeit und der geringe Meßaufwand. Die außerhalb des Motorenraumes liegende Meßwarte erleichtert dem Versuchspersonal zudem die Arbeit. Der Anschluß der Meßeinrichtung an verschiedene Prüfmotoren erfordert nur sehr kurze Umrüstzeiten.

(ADN-WT 1574-6a)

Komplexe Automatisierung bei der ČSSR-Staatsbahn

Ein Fünfstufenprogramm zur komplexen Automatisierung des Rangierbetriebes bei der ČSSR-Staatsbahn wird gegenwärtig im tschechoslowakischen Eisenbahnforschungsinstitut entwickelt. Es reicht vom Wagenablauf bis zur Fernbedienung der Weichen und Lokomotiven und wird bereits teilweise in der Praxis erprobt. Die „automatischen Lokführer“ nehmen dabei Einfluß auf Geschwindigkeit und Energiebedarf der Züge. Schwerpunkte sind die Automatisierung technologischer Abläufe sowie der verstärkte Einsatz von Mikroelektronik und Rechentechnik. Auch den Schienenfahrzeugen selbst gelten wichtige Forschungsarbeiten, so z. B. der technischen Diagnose von Aggregaten und Bremsen. Auf dem Gebiet der Streckenwartung wurde eine automatische Sicherungseinrichtung entwickelt.

(ADN-WT 1557-16b)

Krechowiecki, W.: IA 4.0.2.2.

INTEPNEDYN — ein System pneumatischer diskreter Steuerelemente

msr, Berlin 26 (1983) 12, S. 662—667

Der Beitrag gibt einen Überblick über das von MERA-PIAP Warschau entwickelte pneumatische Hochdruck-Steuerungssystem INTEPNEDYN. Die zum System gehörenden Grundelemente werden in ihrem Aufbau, ihrer Funktion und bezüglich ihres Zusammenwirkens mit peripheren Elementen und Signalwandlern des Steuerungssystems beschrieben. Wechselbeziehungen zwischen Steuerung und zu steuerndem Objekt sowie Kopplungsfähigkeit des pneumatischen Systems zu elektrischen Systemen werden betrachtet.

Stawiarski, D.: IA 4.0.2.2.

Entwurf pneumatischer Steuersysteme für automatisierte Werkzeugmaschinen und verfahrenstechnische Anlagen unter Anwendung der Steuerelemente und Funktionseinheiten des INTEPNEDYN-Systems.

msr, Berlin 26 (1983) 12, S. 668—672

Im Beitrag wird die Zweckmäßigkeit der Anwendung der in der VR Polen entwickelten pneumatischen Hochdruckelemente INTEPNEDYN zur Steuerung von Maschinen und Anlagen beschrieben. Über Entwurfsmethoden von Folgeschaltungen, über Aufbau und Funktion der Folgeprogrammsteuereinheit USP und deren Vergleich mit traditionellen Steuereinrichtungen wird berichtet.

Gałąska, T.; Stawiarski, D.: IA 4.0.2.2.

Maschinen- und Anlagenautomatisierung unter Anwendung pneumatischer Elemente des INTEPNEDYN-Systems

msr, Berlin 26 (1983) 12, S. 672—683

Der Beitrag gibt einen umfassenden Überblick über die Anwendung der pneumatischen und elektropneumatischen Elemente des INTEPNEDYN-Systems zur nachträglichen Maschinenautomatisierung bzw. zur Automatisierung von Montagelinien und anderen speziellen Anlagen. Er weist den in der VR Polen erreichten hohen Entwicklungsstand auf diesem Gebiet aus. Im Zusammenhang mit dem Einsatz von Industrierobotern zur Intensivierung der Volkswirtschaft ist das hier Dargebotene von hoher Aktualität.

Buchta, H.: IA 2.6.1.

Zur Parameterschätzung linearer dynamischer Modelle unter Verwendung periodischer Testsignale

msr, Berlin 26 (1983), S. 684—690

Ausgehend von Problemen, die bei der Parameterschätzung diskontinuierlicher Basismodelle (einvariabel, linear, zeitinvariant) und deren Rückrechnung auf kontinuierliche oder diskontinuierliche Modelle für den Entwurf einer Steuerung kontinuierlich wirkender Systeme zu beachten sind, wird vorgeschlagen, bei aktiver, prozeßrechnergesteuerter Experimentation mit periodischen Testsignalen den MKQ-Algorithmus mit Meßwertmittelung zu verwenden. Der Signalentwurf erfolgt aus der Sicht der Identifizierbarkeit des Basismodells unter Einhaltung praktischer Forderungen. Ein mögliches Vorgehen auf der Grundlage eines Katalogs „vorgefertigter" Testsignalfolgen wird beschrieben.

Bennewitz, W.; Schmiele, J.: IA 5.6.0.

Einige Gedanken zur Einführung von CAE-Arbeitsplätzen in der Anlagenautomatisierung

msr, Berlin 26 (1983) 12, S. 690—693

Der Beitrag soll eine Hilfestellung bei der Einführung von rechnergestützten Konstruktions- und Projektierungsarbeitsplätzen sein. Schwerpunkte sind die Schilderung einer geeigneten Vorgehensweise bei der Vorbereitung der Investition, der möglichen Organisationsformen mit ihren Vor- und Nachteilen und der Arbeitstechniken, die international Anwendung finden. Diese Erkenntnisse basieren auf einer Literaturrecherche und ersten Erfahrungen bei der Einführung eines solchen Systems im Automatisierungsanlagenbau.

Krämer, P.: IA 5.5.4.

Nachbildung von Beobachterstrukturen voller Ordnung für kraftwerkstypische Mehrgrößenprobleme der Energiewirtschaft

msr, Berlin 26 (1983) 12, S. 697—701

Zur Nachbildung interessierender Prozeßzustandsgrößen linearer zeitinvarianter dynamischer Systeme wird eine Nachbildungsstrategie entwickelt. Die erfolgreiche Anwendung dieser Strategie setzt eine vorherige Beobachterberechnung voraus. Nachbildungsobjekt ist eine kraftwerkstypische Problemstellung.

Biedermann, D.: IA 2.3.1.7.

Störungsunterdrückung durch dezentrale Ausgangsrückführung

msr, Berlin 26 (1983) 12, S. 701—704

Es werden zwei Verfahren zum Entwurf dezentraler Regler auf der Grundlage ($\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$)-invarianter Unterräume vorgestellt, die den praxisrelevanten Forderungen der Unstörbarkeit bzw. der stationären Unstörbarkeit der Regelgrößen Rechnung tragen. Beide Verfahren erlauben eine nachfolgende Einbeziehung zusätzlicher Entwurfsziele. Die Meßbarkeit der Regelgrößen ist nicht erforderlich.

Krechowiecki, W.: ИА 4.0.2.2.

INTEPNEDYN — система пневматических дискретных элементов управления

msr, Berlin 26 (1983) 12, стр. 662—667

В статье дан обзор о разработанной Варшавским Институтом МЭРА-ПИАП пневматической системе управления высоким давлением INTEPNEDYN. Входящие в данную систему основные элементы описаны в своих построении, функционировании и взаимодействии с периферическими элементами и преобразователями сигналов системы управления. Корреляции между управлением и управляемым объектом, а также способность связи пневматической системы с электрическими системами рассматриваются.

Stawiarski, D.: ИА 4.0.2.2.

Разработка пневматических систем управления автоматизированными станками и технологическими установками при применении управляющих элементов и функциональных блоков системы INTEPNEDYN

msr, Berlin 26 (1983) 12, стр. 668—672

В статье описана целесообразность применения разработанных в ПНР пневматических элементов высокого давления INTEPNEDYN для управления машинами и установками. Доложено о методах разработки схем последовательного действия, построении и функционировании блока управления программой последовательного действия типа USP и его сравнении с традиционными устройствами управления.

Gałąska, T.; Stawiarski, D.: ИА 4.0.2.2.

Автоматизация машин и установок при применении пневматических элементов системы INTEPNEDYN

msr, Berlin 26 (1983) 12, стр. 672—683

В статье дан широкий обзор о применении пневматических и электропневматических элементов системы INTEPNEDYN для последующей автоматизации машин или для автоматизации монтажных линий и других специальных установок. Статья показывает достигнутый в ПНР высокий уровень разработки в этой области. В связи с применением промышленных роботов для интенсификации народного хозяйства изложенное в данной статье имеет высокую актуальность.

Buchta, H.: ИА 2.6.1.

Об оценке параметров линейных динамических моделей при применении периодических тест-сигналов

msr, Berlin 26 (1983) 12, стр. 684—690

Исходя из проблем, которые должны учитыватся при оценке параметров прерывистых базисных моделей (однопеременные, линейные, инвариантные во времени) и их обратном счете на непрерывные или прерывистые модели для разработки управления непрерывно действующими системами, предлагается применение алгоритма МКQ с усреднением измеряемых значений при активном экспериментировании с управлением от вычислительной машины для управления процессами. Разработка сигналов производится с точки зрения идентификации базисной модели при соблюдении практических требований. Описан возможный образ действий на основе каталога „предварительно изготовленных" последовательностей тест-сигналов.

Bennewitz, W.; Schmiele, J.: ИА 5.6.0.

Ряд соображений по введению рабочих мест CAE в области автоматизации установок

msr, Berlin 26 (1983) 12, стр. 690—693

Статья должна служить помощью при введении рабочих мест конструирования и проектирования при применении вычислительных машин. Основым вопросом является изообажение подходящего образа действий при подготовке капиталовложения, возможных форм организации со своими преимуществами и недостатками и рабочих техник, использованных в международном масштабе. Эти познания основывают на поисках литературы и первом опыте при введении такой системы в области строения установок автоматизации.

Krämer, P.: ИА 5.5.4.

Моделирование структур наблюдателей полного порядка для проблем нескольких величин энергетического хозяйства, типичных для электростанции

msr, Berlin 26 (1983) 12, стр. 697—701

Для моделирования интересующих величин состояния процесса линейных инвариантных во времени динамических систем разработана стратегия моделирования. Успешное применение этой стратегии предполагает предварительный расчет наблюдателей. Объектом моделирования является установка проблемы, типичной для электростанции.

Biedermann, D.: ИА 2.3.1.7.

Подавление возмущения путем децентрализированной выходной обратной связи

msr, Berlin 26 (1983) 12, стр. 701—704

Представлены два метода разработки децентрализированных регуляторов на основе [$\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$]-инвариантных подпоэтранств, учитывающих встречающиеся во практике требования невозмущения или стационарного невозмущения регулируемых величин. Оба метода позволяют включение дополнительных целей разработки. Измеряемость регулируемых величин не требуется.

SUMMARIES

Krechowiecki, W.: IA 4.0.2.2.

INTEPNEDYN— a System of Pneumatic Discrete Control Elements

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 662—667

The author gives a survey on the pneumatic high pressure control system developed by MERA-PIAP Warsaw. The basic elements belonging to the system are described as to their construction, function and coupling with peripheral elements and signal transmitters of the control system. Mutual relations between the control and the object to be controlled as well as the possibility for coupling the pneumatic system to electrical ones are considered.

Stawiarski, D.: IA 4.0.2.2.

Design of Pneumatic Control Systems for Automated Machine Tools and Technological Plants by Use of the Control Elements and Functional Units of the System INTEPNEDYN

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 668—672

The author describes the suitableness of the application of the pneumatic high pressure elements INTEPNEDYN developed in Poland for the control of machines and plants. He reports on design methods of sequential circuits, on the construction and function of the sequential programme control unit USP and its comparison with traditional control devices.

Gałąska, T.; Stawiarski, D.: IA 4.0.2.2.

Machine and Plant Automation by Use of Pneumatic Elements of the System INTEPNEDYN

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 672—683

The author give a comprehensive survey on the application of the pneumatic and electropneumatic elements of the system INTEPNEDYN for the supplementary automation of machines, assembly lines and other special plants. With this, the high state of the art obtained in this field in Poland becomes obvious. In connection with the use of industrial robots for intensification of the economics the contents of this contribution has a high actuality.

Buchta, H.: IA 2.6.1.

On the Parameter Estimation of Linear Dynamic Models by Use of Periodical Test Signals

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 684—690

Starting from problems to be taken into consideration in the parameter estimation of discontinuous basic models (monovariable, linear, time-invariant) and their reduction to continuous or discontinuous models for the design of a control of continuously working systems the author proposes to apply the least squares method in connection with the measurement value averaging with the active process computer-controlled experimentation by periodic test signals. The signal design is executed with regard to the identifiability of the basic model and to meeting practical requirements. A possible approach on the base of a catalog of predesigned test signal sequences is described.

Bennewitz, W.; Schmiele, J.: IA 5.6.0.

Some Considerations on the Introduction of CAE Working Stations in the Plant Automation

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 690—693

This contribution is to represent a help in the introduction of computer-aided construction and design working stations. The author deal particularly with a suited approach in preparing the investment, the possible organization forms with their advantages and shortcomings and the working techniques used internationally. These results are based on an evaluation of the literature and on first experiences gained with the introduction of such a system into the automation industry.

Krämer, P.: IA 5.5.4.

Simulation of Observer Structures of Full Order for Power Station-Type Multivariable Problems in Energy Economics

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 697—701

For the simulation of interesting process state variables of linear dynamical systems the author develops a simulation strategy. The successful application of this strategy assumes a preceding observer calculation. The simulation object is a power station-type problem statement.

Biedermann, D.: IA 2.3.1.7.

Perturbation Suppression by Decentralized Output Feedback

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 701—704

The author presents two methods for the design of decentralized controllers on the base of (A, B)-invariant subspaces and with taking into account the practical requirements of the undisturbability and the stationary undisturbability, respectively, of the controlled variables. Both methods allow a subsequent incorporation of additional design objects. The mensurability of the controlled variables is not required.

RÉSUMÉS

Krechowiecki, W.: IA 4.0.2.2.

INTEPNEDXN — un système d'éléments de commande discrets pneumatiques

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 662—667

L'auteur donne un aperçu sur le système de commande pneumatique à haute pression INTEPNEDYN développé par MERA-PIAP de Varsovie. Les éléments de base du système sont décrits en vue de leur construction, fonction et couplage avec des éléments et des transmetteurs de signal du système de commande. Des relations mutuelles entre la commande et l'objet à commander ainsique la possibilité de couplage du système pneumatique avec des systèmes électriques sont considérées.

Stawiarski, D: IA 4.0.2.2.

La conception de systèmes de commande pneumatiques pour des machines-outils et des installations technologiques sous l'emploi des éléments de commande et des unités fonctionnelles du système INTEPNEDYN

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 668—672

L'auteur décrit l'utilité de l'emploi des éléments pneumatiques à haute pression INTEPNEDYN dévelopés en Pologne pour la commande de machines et d'installations. Il rapporte sur des méthodes de conception de circuits séquentiels, sur construction et fonction de l'unité de commande séquentielle à programme USP et sa comparaison avec des dispositifs de commande traditionnels.

Gałąska, T.; Stawiarski, D.: IA 4.0.2.2.

L'automatisation de machines et d'installations à l'aide d'éléments pneumatiques du système INTEPNEDYN

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 672—683

Les auteurs donnent un aperçu compréhensif sur l'application des éléments pneumatiques et électropneumatiques du système INTEPNEDYN pour l'automatisation supplémentaire de machines, de lignes d'assemblage et d'autres installations spéciales. Avec cela, le haut état de l'art dans ce domaine en Pologne devient évident. En connexion avec l'emploi de robots industriels pour l'intensification de l'économie, le contenu de cette contribution possède une haute actualité.

Buchta, H.: IA 2.6.1.

Sur l'estimation paramétrique de modèles dynamiques linéaires à l'aide de signaux de test périodiques

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 684—690

A partir de problèmes qu'on doit considérer prés l'estimation paramétrique de modèles de base continus (monovariable, linéaire, invariant en temps) et leur réduction à des modèles continus ou discontinus pour la conception d'une commande de systèmes travaillant continuément, l'auteur propose d'employer la méthode des moindres carrés en connexion avec la prise de moyenne des valeurs de mesure près l'expérimentation active commandée par calculateur de processus sur la base de signaux de test périodiques. La conception de signal est réalisée en vue de l'identifiabilité du modèle de base et de remplissement d'exigences pratiques. Une possible approche basée sur un catalogue de séquences de signal de test préprojetées est décrite.

Bennewitz, W.; Schmiele, J.: IA 5.6.0.

Quelques considérations sur l'introduction de postes de travail CAE dans l'automatisation d'installations

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 690—693

Cette contribution doit représenter une aide près l'introduction de postes de travail assisés par ordinateur pour la construction et la conception. Les auteurs traitent particulièrement une apte approche pour la préparation de l'investissement, les possibles formes d'organisation avec leurs avantages et désavantages ainsi que les techniques de travail employées internationalement. Ces résultats sont basés sur une recherche de littérature et de premières expériences obtenues près l'introduction d'un tel système dans l'industrie d'automatisation.

Krämer, P.: IA 5.5.4.

La simulation de structures d'observateur de plein ordre pour des problèmes multivariables typiques pour centrales électriques de l'économie d'énergie

msr, Berlin 26 (1983) 12, pp. 697—701

Pour la simulation de grandeurs d'état de processus intéressantes de systèmes dynamiques linéaires invariants en temps, l'auteur développe une stratégie de simulation. L'application couronnée de succès de cette stratégie suppose un calcul d'observateur précédent. L'objet de simulation est un problème typique pour centrales électriques.

Biedermann, D.: IA 2.3.1.7.

La suppression de perturbations par un retour de sortie décentralisé

msr, Berlin 26 (1983), pp. 701—704

L'auteur présente deux méthodes pour la conception de regulateurs décentralisés sur la base de sous-espaces (A, B)-invariants et en tenant compte des exigences pratiques de l'inperturbabilité, respectivement, de l'inperturbabilité staionnaire des grandeurs à régler. Les deux méthodes permettent d'incorporer subséquemment des objects de projets additionnels. La mensurabilité des grandeurs à régler n'est pas exigée.

Bestellschein



Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland beim örtlichen Buchhandel bestellen.

Expl.

Einführung in die Fertigungstechnik
Von einem Autorenkollektiv, Herausgeber *F. Blume*.
6., durchgesehene Auflage, etwa 360 Seiten,
316 Bilder, 68 Tafeln
Kunstleder 23,— M, (Ausland 28,— M)
Bestell-Nr.: 5528095 ....

Entwurf und Diagnose komplexer digitaler Systeme
Von *D. Reinert*.
1. Auflage, etwa 270 Seiten, 152 Bilder, 35 Tafeln
Pappband 37,— M, (Ausland 42,— M)
Bestell-Nr.: 5532094 ....

Wickelanschlußtechnik
Von *W. Scheel* und *H.-J. Albrecht*.
1. Auflage, etwa 180 Seiten, 134 Bilder, 42 Tafeln
Broschur etwa 16,— M
Bestell-Nr.: 5531753 ....

TECHNIK-WÖRTERBUCH
Medizin
Englisch-Deutsch
Von *J. Nöhring*.
1. Auflage, etwa 640 Seiten
Kunstleder etwa 64,— M, (Ausland etwa 80,— M)
Bestell-Nr. 5532270 ....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....

....

Name, Vorname

....

Anschrift mit Postleitzahl

....

Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik, Wissenschaftliche Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex 0112228 tech dd
Verlagsdirektor	Dipl.-oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362) Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 2870374)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, 5820 Bad Langensalza
	Umschlag — eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandit it te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústředni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 12505 Praha PNS, Ústřed na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei și Difuzarii Presei, Palațul Administrativ, București
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	Brücken-Verlag GmbH, Ackerstraße 3, 4000 Düsseldorf 1; ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160, und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29.

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. der Institution enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1983 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst "Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Ochozimskij, D. B.; Golubev, Ju. F.*: Mechanika i upravlenie dviženiem avtomatičeskogo šagajuščego apparata (Mechanik und Steuerung der Bewegung automatischer schreitender Apparate). Nauka. 3. Quart. 1984. NK 83–26 (11).

[2] Metodičeskie materialy i dokumentacija po paketam prikladnych programm. Meždunar. centr. nauč, i techn. informacii. (Methodische Materialien und Dokumentation zu Programmpaketen). Vyp. Informacionno-poiskovaja sistema AIDOS/VS (Ausgabe: Informationsrecherchesystem AIDOS). 4. Quart. 1984. NK 83–26 (13).
Vyp. Malaja ierarchičeskaja raspredelennaja informacionnaja sistema (MIRIS) dlja SM EVM (Ausgabe: Kleines hierarchisch verteiltes Informationssystem (MIRIS) für SM EDVA). 4. Quart. 1984. NK 83–26 (14).
Vyp. Mašinnaja grafika baz dannych (Maschinelle Grafik von Datenbasen). 4. Quart. 1984. NK 83–26 (15).

[3] *Dragunjavičjus, G. V.*: Avtomatizirovannye sistemy upravlenija stroitel'stvom (ASUS) v uslovijach brigadnogo podrjada (Automatisierte Systeme zur Steuerung im Bauwesen (ASUS) unter Bedingungen der Brigadetätigkeit). Techn. Strojizdat. 2. Quart. 1984. NK 83–26 (38).

[4] Primenenie mikroprocessornoj techniki. Vyp. 3 i 4 (Anwendung der Mikroprozessortechnik. Ausg. 3 und 4). Meždunar. centr nauč. i techn. informacii. 4. Quart. 1984. NK 83–26 (180).

[5] *Upitis, V. V.*: Makro-mikroelementy v optimizacii mineral'nogo pitanija mikrovodoroslej (Makro- und Mikroelemente in der Optimierung der Speisung von Mikrowasserpflanzen) Zinatne (LatvSSR). 3. Quart. 1983. NK 83–26 (182).

[6] *Ancyz, S. M.; Djatlova, L. G.; Fefelov, V. F.*: Instrumental'nyj kompleks razrabotki OASU (Instrumenteller Komplex zur Entwicklung von OASU). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (57).

[7] *Medvedkov, S. Ju.; Sergeev, Ju. A.*: Meždunarodnyj marketing amerikanskoj technologii (Internationaler Marketing der amerikanischen Technologie). Nauka. 1. Quart. 1984. NK-No. 83–27 (59).

[8] Modelirovanie v processach upravlenija narodnym chozjajstvom (Modellierung in Prozessen der Steuerung der Volkswirtschaft). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (60).

[9] Modelirovanie mežotraslevych vzaimodejstvij (Modellierung der innerzweiglichen Wechselwirkungen). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (61).

[10] Planirovanie i prognozirovanie prirodno-ekonomičeskich sistem (Planung und Vorhersage ökonomisch-natürlicher Systeme). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (63).

[11] Problema razrabotki i realizacii kompleksnych programm (Problem der Entwicklung und Realisierung von Komplexprogrammen). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (66).

[12] *Rozin, B. B.; Kotjukov, V. I.; Jagol'nicer, M. A.*: Ekonomiko-statističeskie modeli s peremennoj strukturoj (Ökonomisch-statistische Modelle mit veränderlicher Struktur). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (68).

[13] *Starodubcev, N. A.*: Sintez schem upravlenija parallel'nych vyčislitel'nych sistem (Synthese von Schaltungen zur Steuerung paralleler Rechnersysteme). Nauka. 1. Quart. 1984 NK 83–27 (89).

[14] Abstraktnaja i strukturnaja teorija relejnych ustrojstv (Abstrakte und strukturelle Theorie von Relaiseinrichtungen). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (90).

[15] Determinirovannye i stochastičeskie sistemy upravlenija (Determinierte und stochastische Systeme zur Steuerung). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (91).

[16] *Levit, V. E., Pereverzev-Orlov, V. S.*: Struktura i pole dannych pri raspoznavanii obrazov (Struktur und Feld der Daten bei der Mustererkennung). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83 bis 27 (92).

[17] *Pankova, L. A.; Petrovskij, A. M.; Šnejderman, M. V.*: Organizacija ekspertizy i analiz ekspertnoj informacii (Organisation von Expertisen und Analyse der Experteninformation). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (93).

[18] *Popov, E. P.; Juščenko, A. S.*: Roboty i čelovek (Roboter und Mensch). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (94).

[19] *Prangišvili, I. V.; Podlazov, V. S.; Stecjura, G. G.*: Lokal'nye mikroprocessornye vyčislitel'nye seti (LMVS). (Lokale Mikroprozessor-Rechnernetze). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (95).

[20] *Truchaev, R. I.*: Infljuentnyj analiz i prinjatie rešenij (Influenzanalyse und Entscheidungsfindung). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (96).

[21] Upravlenie v složnych nelinejnych sistemach (Steuerung in komplizierten nichtlinearen Systemen). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (97).

[22] *Popyrin, L. S.*: Matematičeskoe modelirovanie i optimizacija atomnych elektrostancii (Mathematische Modellierung und Optimierung von Kernkraftwerken). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (263).

[23] *Davydov, G. B.*: Informacija i seti svjazi (Information und Nachrichtennetze). Nauka. 1. Quart. 1984. NK 83–27 (279).

[24] *Šelegija, R. S.*: Nekotorye modeli massovogo obsluživanija i issledovanie operacij (Einige Modelle der Bedienungstheorie und Operationsforschung). Tbilis. un-ta. 4. Quart. 1983. NK 83–28 (19).

[25] Čislennyj analiz rešenija zadač linejnogo i vypuklogo programmirovanija (Numerische Analyse der Lösungen von Aufgaben der linearen und konvexen Optimierung). Nauka. 2. Quart. 1984. NK 83–28 (93).

[26] *Nadaraja, Z. A.*: Neparametričeskoe ocenivanie plotnostej i krivoj regressii (Nichtparametrische Schätzung der Dichtefunktion und der Regressionskurve). Izd-vo Tbilis. un-ta. 4. Quart. 1983. NK 83–28 (95).

[27] *Nosov, G. R.; Kondratec, V. A.; Sakalo, L. G.*: Avtomatika i avtomatizacija mobil'nych sel'skochozjajstvennych mašin (Automatik und Automatisierung mobiler landwirtschaftlicher Maschinen). Višča škola (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–28 (277).

[28] *Ruban, V. Ja.; Kozak, Ju. I.; Zadorožnyj, S. V.*: Programmno-celevoe upravlenie v nauke i technike (Programm-Ziel-Steuerung in Wissenschaft und Technik). Višča škola (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–28 (280).

[29] *Ignetenko, B. F.; Pavlovskij, V. I.*: Jazyki manipulirovanija dannymi (Sprachen zur Manipulation mit Daten). Izd-vo Kiev. un-ta (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (22).

[30] Kompleksnoe informacionnoe obespečenie specialistov (Komplexe informationelle Versorgung von Spezialisten). Technika. (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (23).

[31] Avtomatizirovannaja sistema razrabotki planov razvitija proizvodstva (Automatisiertes System der Entwicklung von Plänen zur Produktionsentwicklung). Technika(USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (29).

msr 7975

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 26 (1983) 12, S. 661—720

